

Ökonomische Entscheidungsunterstützung für die Klimaanpassungspolitik

Anforderungen, Verfahren und Anwendungspotenziale
in der Praxis

Von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Leipzig
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum politicarum
Dr. rer. pol.
vorgelegt

von Dipl. Volkswirt Karl Trela
geboren am 21. April 1986 in Krakau, Polen

Gutachter: Prof. Dr. Erik Gawel, Prof. Dr. Bodo Sturm

Tag der Verleihung: 5. Juli 2017

Karl Trela

Universität Leipzig

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Lehrstuhl für VWL / Institutionenökonomische Umweltforschung von Prof. Dr. Erik Gawel

Grimmaische Straße 12

04109 Leipzig

Email: trela@wifa.uni-leipzig.de

Wissenschaftlicher Werdegang

- | | |
|-------------------|---|
| seit Oktober 2012 | Doktorand am Lehrstuhl für VWL / Institutionenökonomische Umweltforschung von Prof. Dr. Erik Gawel an der Universität Leipzig. |
| seit Oktober 2012 | Gastwissenschaftler am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (UFZ). |
| seit Mai 2016 | Wissenschaftliche Hilfskraft im Jordan Water Project: „Integrated Analysis of Freshwater Resources Sustainability in Jordan“ an der Universität Leipzig zusammen mit der Stanford University, USA. |
| 11/2015 – 03/2016 | Forschungsaufenthalt an Jawaharlal Nehru University, New Delhi, Indien. |
| 10/2012 – 12/2014 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der interdisziplinären Nachwuchsforschergruppe RegAWa „Regionale Anpassung an globalen Wandel – Ökonomische Instrumente zur Sicherung von Nachhaltigkeit“ an der Universität Leipzig. |
| 02/2011 – 03/2012 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in Mannheim. |
| 10/2009 – 09/2010 | Studentische Hilfskraft am Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in Mannheim. |
| 08/2008 – 08/2009 | Auslandsstudium in Economics und Finance an der University of Connecticut, USA. |
| 11/2006 – 05/2008 | Studentische Hilfskraft am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, insbes. Planung und Verwaltung öffentlicher Wirtschaft, von Prof. Dr. Eberhard Wille an der Universität Mannheim |
| 10/2005 – 11/2010 | Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Mannheim. Abschluss als Dipl.-Volkswirt. |

Bibliographische Angaben

Karl Trela

Ökonomische Entscheidungsunterstützung für die Klimaanpassungspolitik

Anforderungen, Verfahren und Anwendungspotenziale in der Praxis

Universität Leipzig, Dissertation

230 S., 273 Lit., 17 Abb., 2 Anlagen

Referat

Mit dem Fortschreiten des Klimawandels und dem stetigen Scheitern der internationalen Staatengemeinschaft bei der Verringerung der Treibhausgasemissionen rückt die Anpassung an die zukünftigen Folgen des Klimawandels immer stärker in den Vordergrund und findet langsam auch in der Politik Beachtung. Die bisherige Forschung hat dabei eine Vielzahl von spezifischen Entscheidungsschwierigkeiten identifiziert, die von langen Planungshorizonten über eine außerordentlich hohe Komplexität bis zu tiefer Unsicherheit reichen. Die folgende Arbeit setzt sich mit der Frage auseinander: Wie lässt sich die politische Entscheidungsfindung bezüglich der Anpassung an den Klimawandel unterstützen? Eine Möglichkeit bieten sogenannte Entscheidungsunterstützungsmethoden, die in ökonomischer Forschung und in verwandten Disziplinen wie dem Operations Research entwickelt wurden.

Um die Eignung dieser Methoden für die Unterstützung der Anpassungspolitik untersuchen zu können, werden zunächst im Rahmen einer normativen Analyse die Ziele einer optimalen Anpassungspolitik definiert. Zur Verdeutlichung werden daraufhin die aktuelle anpassungspolitische Lage in Deutschland beleuchtet und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt. Besonders ein Bereich wird dabei als geeignet für die Unterstützung durch Entscheidungsmethoden herausgestellt: die Rationalisierung und das Monitoring staatlicher Anpassungsentscheidungen.

Den eigentlichen Kern der Arbeit stellt eine umfassende präskriptive Entscheidungstheorie der Anpassungspolitik dar. Grundsätzlich kann bei der staatlichen Anpassung zwischen zwei Entscheidungsfeldern unterschieden werden: dem politischen Entscheidungsfeld und dem administrativen Entscheidungsfeld. Während bei der Anpassung an den Klimawandel allgemeine Schwierigkeiten auftreten, die beide Entscheidungsfelder gleichermaßen betreffen und somit allgemeine Anforderungen an Entscheidungsmethoden darstellen, stellen sich je nach thematischem und räumlichem Horizont der Entscheidungsträger mitunter auch spezifische Herausforderungen. Die Analyse dieser Schwierigkeiten ergibt ein nach Anwendungsbereich differenziertes Anforderungsprofil, nach welchem die gängigsten Entscheidungsmethoden untersucht werden. Dabei erweist sich die weit verbreitete Kostenwirksamkeitsanalyse aufgrund ihrer Einfachheit und rationalisierenden Wirkung als meist geeignete Entscheidungsmethode für den administrativen Einsatz. Für den politischen Einsatz sind hingegen elaboriertere Methoden wie Multikriterielle Analysen zu bevorzugen, da sie sich hinsichtlich der Heterogenität der politischen Instrumente als flexibler erweisen. Mithilfe der jeweils passenden Entscheidungsmethoden kann die Anpassungspolitik zukünftig besser gestaltet werden als es bisher der Fall war.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	13
I. Herausforderung Klimaanpassung aus ökonomischer Sicht	14
1. Globaler Klimawandel und regionale Folgen	15
2. Begriff und Typen der Klimaanpassung	18
2.1. Begriffsdefinition	18
2.2. Typen der Klimaanpassung	19
3. Klimapolitische Optionen: Vermeidung und Anpassung	21
4. Sektoren mit Anpassungsbedarf	25
5. Fragestellung und Gang der Untersuchung	27
II. Normative Analyse der Klimaanpassungspolitik	29
6. Legitimation staatlicher Eingriffe	31
6.1. Ineffizienz	31
6.1.1. „Freifahrer“-Effekte bei öffentlichen Gütern	32
6.1.2. Negative externe Effekte von Anpassungsmaßnahmen	34
6.1.3. Moral Hazard und adverse Selektion in Versicherungsmärkten	34
6.1.4. Regulatorische und institutionelle Barrieren	35
6.1.5. Verhaltensbarrieren	36
6.1.6. Politökonomische Barrieren	38
6.2. Verteilungs- und Gerechtigkeitsaspekte	39
6.3. Gefährdung der Versorgungssicherheit	40

7. Einordnung von Klimaanpassung in die Theorie der Wirtschaftspolitik	42
7.1. Ordnungspolitische Einordnung	42
7.2. Prozesspolitische Einordnung	43
7.3. Strukturpolitische Einordnung	45
7.4. Mainstreaming-Ansatz	46
7.4.1. Mainstreaming Definition	46
7.4.2. Überschneidungen mit Zielen und Maßnahmen anderer Politikbereiche	47
8. Akteure, Ziele und Instrumente der Klimaanpassungspolitik	50
8.1. Akteure	50
8.2. Ziele	51
8.3. Instrumente	52
9. Zwischenfazit	56
 III. Positive Analyse der Klimaanpassungspolitik in Deutschland	 58
10. Akteure, Strategien und Maßnahmen der Klimaanpassungspolitik	60
10.1. Europäische Union	60
10.2. Deutschland	62
10.2.1. Bundesebene	62
10.2.1.1. Deutsche Anpassungsstrategie (DAS)	62
10.2.1.2. Aktionsplan Anpassung (APA)	62
10.2.1.3. Fortschrittsbericht und Aktionsplan Anpassung II	64
10.2.2. Bundesländer	65
10.2.3. Kommunen	66
11. Bewertung der deutschen Anpassungspolitik	68
11.1. Ordnungspolitische Rahmenbedingungen	68
11.1.1. Anforderungen	68
11.1.2. Bewertung	68
11.2. Beseitigung von Ineffizienzen	70
11.2.1. Anforderungen	70
11.2.2. Bewertung	71
11.3. Verteilungsgerechtigkeit	73
11.3.1. Anforderungen	73
11.3.2. Bewertung	73
11.4. Versorgungssicherheit	74
11.4.1. Anforderungen	74

11.4.2. Bewertung	74
12. Mögliche Verbesserungsansätze	75
12.1. Festlegung staatlicher Eingriffsbereiche	75
12.2. Berücksichtigung von Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit . . .	76
12.3. Rationalisierung und Monitoring der politischen Entscheidungen	77
13. Zwischenfazit	78
 IV. Präskriptive Entscheidungstheorie der Klimaanpassungspolitik	 80
14. Motivation der Analyse von Entscheidungsmethoden	83
14.1. Entscheidungsprobleme in der Klimaanpassungspolitik	83
14.2. Modelltheoretische Vorteilhaftigkeit von Entscheidungsmethoden für Politiker .	85
14.3. Unterstützung anpassungspolitischer Ziele durch Entscheidungsmethoden . . .	87
15. Typologie staatlicher Klimaanpassungsentscheidungen	89
15.1. Entscheidungsproblematiken	89
15.2. Entscheidungsfelder	91
16. Kriterien zur Bewertung von Anpassungsinstrumenten	96
16.1. Kosten	96
16.2. Nutzen	97
16.3. Distributive Fairness	98
16.4. Robustheit der Maßnahme	99
17. Anforderungen an Entscheidungsmethoden	101
17.1. Allgemeine Anforderungen	101
17.1.1. Rationalisierende Wirkung	103
17.1.2. Eignung zum Monitoring	103
17.1.3. Anwendbarkeit bei Unsicherheit oder Ungewissheit	104
17.1.4. Eignung zur Priorisierung	104
17.1.5. Anwendbarkeit bei weiteren Entscheidungsproblematiken	104
17.1.6. Prozedurale Fairness	105
17.1.7. Interaktionale Fairness	106
17.1.8. Ergebnisrobustheit	107
17.2. Politikbetonte Anforderungen	107
17.2.1. Informationelle Kompatibilität	108
17.2.2. Informationelle Flexibilität	108
17.2.3. Bedienung politischer Interessen	109

17.3. Praxisbetonte Anforderungen	109
17.3.1. Verständlichkeit	109
17.3.2. Implementierungsaufwand	110
17.3.3. Partizipationsfähigkeit	110
18. Analyse der Eignung ökonomischer Bewertungs- und Entscheidungsmethoden	112
18.1. Funktionsweise und allgemeine Eignung der Entscheidungsmethoden	113
18.1.1. Kostenwirksamkeitsanalyse	113
18.1.1.1. Verfahren	113
18.1.1.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen	115
18.1.2. Kosten-Nutzen-Analyse	120
18.1.2.1. Verfahren	120
18.1.2.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen	123
18.1.3. Portfoliotheorie	129
18.1.3.1. Verfahren	129
18.1.3.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen	132
18.1.4. Reale Optionen	137
18.1.4.1. Verfahren	137
18.1.4.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen	145
18.1.5. Robust Decision Making	149
18.1.5.1. Verfahren	149
18.1.5.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen	153
18.1.6. Multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA)	158
18.1.6.1. Additive Wertgewichtungsmethoden	160
18.1.6.2. Outranking-Methoden	171
18.2. Vergleichende Analyse	187
18.2.1. Allgemeiner Vergleich	187
18.2.2. Vergleich mittels multikriterieller Analyse	189
18.2.3. Ergebnisse	190
19. Zwischenfazit	192
 V. Fazit und Ausblick: Eine rationale Klimaanpassungspolitik?	 194
Anhang	197
A. Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland	197
A.1. Gesundheitswesen	197
A.2. Wasserversorgung und Hochwasserschutz	198
A.2.1. Hochwasserschutz	199

A.2.2.	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft	199
A.2.3.	Küstenschutz	200
A.3.	Land- und Forstwirtschaft	200
A.4.	Transport	203
A.4.1.	Straßenverkehr	203
A.4.2.	Schienenverkehr	203
A.4.3.	Schifffahrt	204
A.4.4.	Luftfahrt	204
A.5.	Energieversorgung	204
A.5.1.	Thermische Kraftwerke	204
A.5.2.	Windkraftwerke	206
A.5.3.	Solarkraftanlagen	207
A.5.4.	Wasserkraftwerke	207
A.5.5.	Sonstige Auswirkungen	208
A.6.	Tourismus	208
B.	Eigenvektormethode nach AHP	209

Literaturverzeichnis	211
-----------------------------	------------

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
APA	Aktionsplan Anpassung der Deutschen Bundesregierung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BLAG KliNA	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität und Nachhaltigkeit
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesumweltministerium
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BNetzA	Bundesnetzagentur
BW	Barwert
CPI	Climate Policy Integration
CSC	Climate Service Center
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DG-CLIMA	Generaldirektion Klimapolitik der Europäischen Kommission (Directorate-General for Climate Action)
EEA	Europäische Umweltagentur (European Environment Agency)
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité oder ELimination and Choice Expressing the REality
EPI	Environmental Policy Integration
ETS	EU-Emissionshandel (European Union Emission Trading System)
EU	Europäische Union
EU-WRRL	Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) der EU (EU Water Framework Directive EU-WRD)

GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
GHG	Treibhausgas (Green House Gas)
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
IMA “Anpassungsstrategie”	Interministerielle Arbeitsgruppe “Anpassungsstrategie”
INDC	Nationale Klimaschutzzusagen des Pariser UN-Abkommens (Intended Nationally Determined Contributions)
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KFZ	Kraftfahrzeug
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KW	Kapitalwert
KWA	Kostenwirksamkeitsanalyse
LABO	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden
LAWA	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LIFE	Finanzinstrument der EU zur Förderung von Umweltmaßnahmen (L’Instrument Financier pour l’Environnement)
LTV	Landestalsperrenverwaltung
MAUT	Multiattribute Utility Theory
MAVT	Multiattribute Value Theory
MCDA	Multikriterielle Analyse (Multi Criteria Decision Analysis)
MFR	Mehrfähriger Finanzrahmen - EU-Haushalt
MVP	Minimum-Varianz-Portfolio
NGO	Nichtregierungsorganisation (non governmental organisation)
RCP	Emissionsszenarien des Weltklimarats (Representative Concentration Pathway)
RDM	Robust Decision Making
ROA	Reale-Optionen-Analyse

SD	Standardabweichung
StA AFK	Ständige Ausschuss zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels
SUP	Strategischen Umweltprüfung
UBA	Umweltbundesamt
UMK	Umweltministerkonferenz
UN	Vereinte Nationen (United Nations)
UNESCO	Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WSSD	Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung (World Summit on Sustainable Development)

Abbildungsverzeichnis

1.1. Anthropogener Kohlendioxidausstoß und erwarteter Temperaturanstieg	16
1.2. Erwartete klimatische Veränderungen	16
3.1. Klimaschutz und Anpassung	22
3.2. Geplante globale Emissionsentwicklung	24
8.1. Ziele und Instrumente der Anpassungspolitik	52
15.1. Entscheidungsfelder und Fokusse der staatlichen Klimawandelanpassung . . .	92
18.1. Beispiel für eine Grenzkostenkurve	115
18.2. Erwarteter Nutzenwert	123
18.3. Portfolio Analyse	131
18.4. Wert einer Option im zeitstetigen Modell	139
18.5. Optionswert einer realen Option zum Investitionszeitpunkt $t = \tau$	140
18.6. Szenario Wahrscheinlichkeiten beim Robust Decision Making	152
18.7. Hierarchische Struktur bei AHP	163
18.8. Beispiel für AHP Hierarchie in der Klimaanpassung	164
18.9. Beispiel für Outranking-Beziehungen in ELECTRE I	173
18.10. Beispiel für Intransitivität der Indifferenz bei PROMETHEE III	181
18.11. Beispiel für PROMETHEE-Methode	182

Tabellenverzeichnis

7.1. Überschneidungen der Anpassungspolitik mit anderen Politikbereichen	48
17.1. Anforderungen an Entscheidungsmethoden	102
18.1. Bewertungstabelle für multikriterielle Analyse	159
18.2. Beispiel für Kriteriengewichtung und Alternativenbewertung mittels paarwei- sem Vergleich nach AHP	165
18.3. Outranking-Beziehungen nach ELECTRE	173
18.4. Beispiel für Verwendung von ELECTRE I	174
18.5. Typen generalisierter Kriterien bei PROMETHEE	178
18.6. Outranking-Flows nach PROMETHEE	181
18.7. Erfüllung der Anforderungen durch verschiedene Entscheidungsmethoden . . .	188
18.8. Ergebnisse der vergleichenden PROMETHEE Analyse	189
B.1. Random Consistency Index (R.I.) nach Anzahl der Kriterien	211

Teil I.

Einleitung: Herausforderung Klimaanpassung aus ökonomischer Sicht

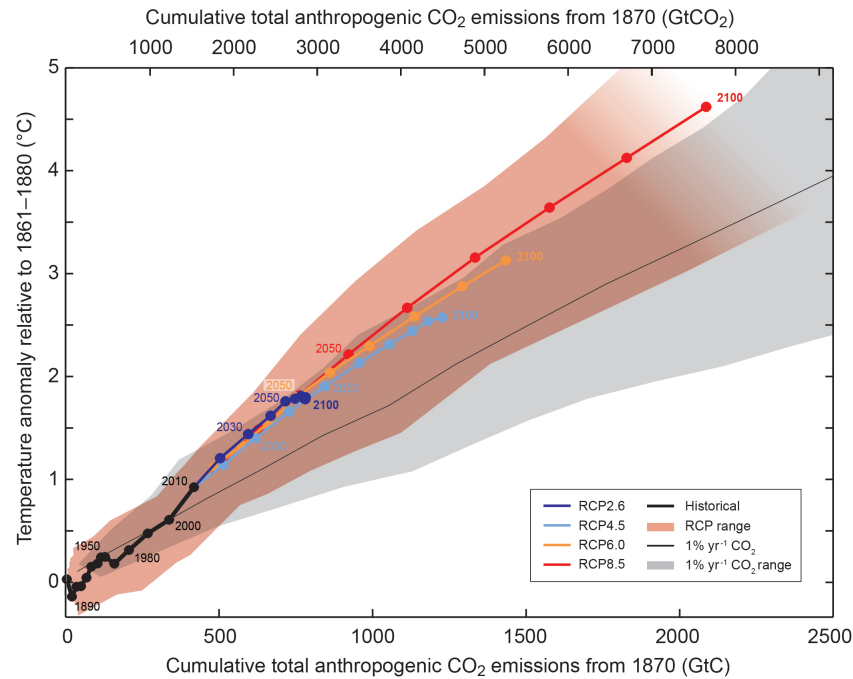
1. Globaler Klimawandel und regionale Folgen

Die weltweite Treibhausgaskonzentration hat seit Beginn der industriellen Revolution durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Herstellung von Zement rapide zugenommen. Bereits jetzt sind die Folgen dieser anthropogenen Veränderung der Erdatmosphäre messbar. Die globale Oberflächentemperatur ist im Schnitt um fast 1°C gestiegen, was die Abnahme des arktischen Meereseisflächen und einen Anstieg des Meeresspiegels bewirkt hat (siehe IPCC 2014c, Abbildung 1.1). Der Temperaturanstieg betrifft nicht alle Regionen gleichermaßen. Besonders stark stieg die Temperatur in einigen kontinentalen Gebieten, wo die Durchschnittstemperatur bereits um 2°C über dem vorindustriellem Niveau liegt. Der Temperaturanstieg macht sich zudem schon jetzt durch veränderte Niederschläge bemerkbar, wobei besonders Trockenheit ein Problem darstellt.

Je nach der Entwicklung der zukünftigen anthropogenen Emissionen können die weltweiten Temperaturen noch beträchtlich weiter ansteigen. Bei einem ungehinderten weiteren Anstieg der jährlichen CO_2 -Emissionen, dem schlimmsten Klimaszenario RCP 8.5 des Weltklimarates, wird erwartet, dass die durchschnittliche Temperatur bis zum Jahre 2100 um bis zu 5°C steigt (siehe Abbildung 1.1). Ein derart starker Temperaturanstieg würde zu verheerenden klimatischen Veränderungen führen. Der Weltklimarat rechnet bei diesem Szenario mit einer Abnahme des durchschnittlichen Niederschlags in weiten Regionen um über 20 Prozent, einer Zunahme in anderen Regionen um bis zu 50 Prozent und einem Anstieg des Meeresspiegels um bis zu 80cm (siehe Abbildung 1.2). Somit ist mit regional höchst unterschiedlichen Folgen der Erderwärmung zu rechnen. In Südeuropa würde der Klimawandel zum Beispiel zu großer Trockenheit und vermehrten Hitzewellen führen, während in Deutschland die Starkniederschläge im Winter stark zunehmen würden (siehe IPCC 2014b, Abbildung 23.2). Die anderen Klimaszenarien gehen von einem Rückgang der weltweiten jährlichen Emissionen zum Beispiel durch erfolgreichen internationalen Klimaschutz oder fortschreitende Technologien aus. Beim optimistischsten Szenario (RCP 2.6) wird dennoch mit einem Temperaturanstieg von knapp 2°C gerechnet.

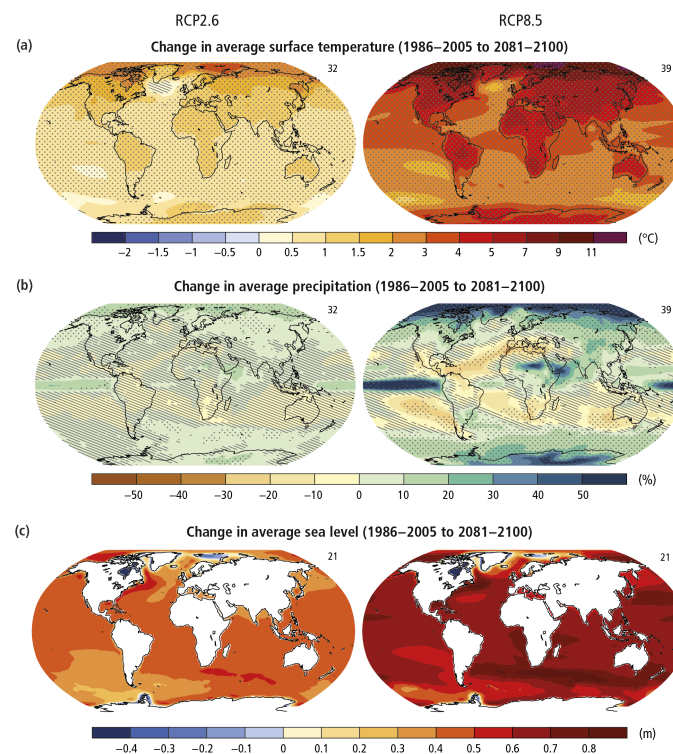
Die genauen regionalen Auswirkungen der klimatischen Veränderungen sind bisher ungewiss und auch eine verlässliche regionale Modellierung der Auswirkungen für Deutschland lässt bisher auf sich warten. Auf Basis der bisherigen Ergebnisse des Weltklimarates ist dennoch vor allem mit Auswirkungen auf die Alpengletscher, den Meeresspiegel, den Niederschlag und damit auf die Hochwassergefahr zu rechnen. Ebenso sind Auswirkungen auf die menschliche

Abbildung 1.1.: Anthropogener Kohlendioxidausstoß und erwarteter Temperaturanstieg



Quelle: IPCC (2014a, Abbildung SPM.10)

Abbildung 1.2.: Erwartete klimatische Veränderungen



Quelle: IPCC (2014c, Abbildung 2.2)

Gesundheit und eine erhöhte Waldbrandgefahr aufgrund vermehrter Hitzeperioden in Teilen Deutschlands zu erwarten (siehe Deutsche Meteorologische Gesellschaft, 2007).

Einerseits liegen die Ursachen des Klimawandels somit auf globaler Ebene, da der anthropogene Ausstoß von Treibhausgasen weltweit wirkt. Für den physikalischen Treibhauseffekt macht es kaum einen Unterschied, wo eine Tonne CO_2 auf der Welt ausgestoßen wird: Sie trägt immer gleichermaßen zur globalen Treibhausgaskonzentration und damit zum Klimawandel bei. Andererseits sind die Auswirkungen des Klimawandels und damit die benötigte Anpassung regional oder lokal unterschiedlich. Dürren, Hitzeperioden, Brände, Überschwemmungen und Starkniederschläge sind räumlich beschränkt und erfordern lokale Maßnahmen. Bevor diese Maßnahmen aus ökonomischer Perspektive betrachtet werden können ist eine klare Begriffsdefinition und Typologisierung von Klimaanpassung nötig. Diese wird im nächsten Kapitel vorgenommen

2. Begriff und Typen der Klimaanpassung

2.1. Begriffsdefinition

Eine weitgehend akzeptierte und oft verwendete Definition des Begriffs Klimawandelanpassung wurde vom Weltklimarat vorgelegt. Nach dem Wortlaut des IPCC lässt sich Klimaanpassung wie folgt „beschreiben (Smit et al., 2001, S. 881): „*Adaptation is adjustment in ecological, social, or economic systems in response to actual or expected climatic stimuli and their effects or impacts. This term refers to changes in processes, practices, or structures to moderate or offset potential damages or to take advantage of opportunities associated with changes in climate. It involves adjustments to reduce the vulnerability of communities, regions, or activities to climatic change and variability.*“ Demnach ist Klimaanpassung die Anpassung der Prozesse, Praktiken und Strukturen von ökologischen, sozialen und ökonomischen Systemen an die vorteilhafte oder nachteilige Veränderung klimatischer Bedingungen. Somit weist jede Klimaanpassungsaktivität drei Dimensionen auf, die über folgende Fragen bestimmt werden können: “Anpassung an was?” (klimabezogene Stimuli), “Wer passt sich an?” (Anpassungssystem) und “Wie erfolgt Anpassung?” (Anpassungsmaßnahmen).¹ Klima- und Wetterveränderungen (z. B. Niederschlag, Dürre) können dabei sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Auswirkungen (z. B. Ernte- und Einkommensausfälle) haben. Neben längerfristigen durchschnittlichen Veränderungen von Temperatur- und Niederschlag stellen vor allem die Klimavariabilität und die Extremwetterereignisse klimabedingte Stimuli dar (Smit et al., 2001; Adger et al., 2007). Während die Klimaanpassungsdefinition gemäß IPCC neben menschlichen auch ökologische und physikalische Systeme beinhaltet, konzentrieren sich die meisten wissenschaftlichen Arbeiten vorwiegend auf gesellschaftliches Handeln, wie in Hallegatte et al.(2011, S. 5): „*We can define adaptation to climate change as 'the set of organization, localization and technical changes that societies will have to implement to limit the negative effects of climate change and to maximize the beneficial ones'*“.

Weitere im Zusammenhang mit dieser Anpassungsdefinition stehende Begriffe sind *Anpassungskapazität* und *Vulnerabilität*. Anpassungskapazität (adaptive capacity) beschreibt das Potential oder die Fähigkeit eines Systems sich an Klimawandelstimuli oder deren Auswirkungen anzupassen (Smit et al., 2001). Dies beinhaltet sowohl die Anpassung des Verhaltens als auch die Anpassung von Technologien und Ressourcen (Adger et al., 2007).

¹ Eine detaillierte Ausarbeitung der einzelnen Dimensionen findet sich in Smit et al. (2000).

In Unterscheidung zu diesem Anpassungsbegriff muss für vorliegende Arbeit noch der Begriff der *Anpassungspolitik* definiert werden. Dieser bezeichnet jegliche politischen Aktivitäten, die eine Anpassung an den Klimawandel betreffen. Dabei kann es sich sowohl um die Planung direkter staatlicher Maßnahmen zur Anpassung an Klimawandel handeln (Bereitstellung öffentlicher Güter wie z. B. Deichbau) als auch um staatliche Maßnahmen zur Beeinflussung autonomer privater Anpassung.² In jedem Fall beinhaltet Anpassungspolitik die Entscheidungsfindung im politischen Prozess.

2.2. Typen der Klimaanpassung

Die gängigste Kategorisierung von Klimaanpassungstypen und -formen wurde von Smit et al. (1999) aufgestellt und unterscheidet nach folgenden Attributen: Zielbewusstheit, Timing, Zeithorizont, räumliche Reichweite, Funktion, Form und Ergebnis.

Zielbewusstheit bezieht sich auf die Unterscheidung zwischen *autonomer* Anpassung und *geplanter* Anpassung.³ Während bei autonomer oder spontaner Anpassung entsprechend der neoklassischen Theorie eine Anpassung dezentral („passiv“) über den Marktmechanismus und individuelle Anpassungsleistungen gesteuert wird, benötigt geplante Anpassung eine kollektive Koordination, zum Beispiel in Form eines staatlichen Eingriffes. Die Legitimation solcher staatlichen Eingriffe wird in Kapitel 6 diskutiert.

Beim Timing unterscheiden Smit et al. (1999) zwischen zwei Typen: *antizipative* und *reaktive* Klimaanpassung. Während reaktive Klimaanpassungsmaßnahmen ex post auf die bereits eingetretenen Auswirkungen des Klimawandels reagieren, sollen antizipative Maßnahmen die potentielle Vulnerabilität verringern bevor klimawandelbedingte Auswirkungen eintreten.

Klimaanpassung lässt sich auch nach dem Zeithorizont kategorisieren. Entweder die Maßnahmen sind *kurzfristig* ausgelegt oder sollen *langfristig* gegen die Auswirkungen des Klimawandels wirken. Auch kann unterschieden werden, ob taktisch auf einzelne Situationen abgezielt wird oder ob langfristige strategische Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden.

Die räumliche Reichweite von Anpassungsaktivitäten kann *lokal* beschränkt (z. B. beim Deichbau) oder *großflächig* sein (z. B. bei der Informationsbereitstellung zu den Auswirkungen des Klimawandels oder bei Frühwarnsystemen). Da die Auswirkungen des Klimawandels sich räumlich meist sehr unterscheiden, findet Klimaanpassung meist auf lokaler oder regionaler Ebene statt.

Smit et al. (1999) definieren auch verschiedene Funktionen oder Effekte von Anpassung.

² Die Kategorisierung nach den beiden Anpassungstypen „staatlich/geplant“ und „autonom/privat“ werden im nächsten Kapitel 2.2 genauer erläutert. Die ökonomische Legitimität der staatlichen Beeinflussung von autonomer Anpassung zum Beispiel zur Behebung von Marktversagen wird in Kapitel 6 behandelt.

³ Diese Unterscheidung ist nicht immer eindeutig. Während aus Sicht des Staates der Wechsel auf andere Getreidesorten der Bauern eine autonome Anpassung darstellt, ist sie aus Sicht der Bauern geplant (Fankhauser et al., 1999). In der Literatur haben die beiden Begriffe jedoch zumeist die oben beschriebene Bedeutung. Die Unterscheidung nach autonom und staatlich hingegen ist eindeutig.

So werden neben der präventiven Wirkung von Maßnahmen auch die Wiederherstellung des vorherigen Zustandes oder das Zurückweichen als Funktionen von Anpassung bezeichnet.⁴

Weiter definieren Smit et al. (1999) unterschiedliche Formen von Anpassung. Neben den üblichen technologischen Maßnahmen gibt es auch rechtliche und regulatorische Anpassungsformen. Zudem kann eine Anpassung auch institutionell erfolgen.

Fankhauser et al. (1999) unterscheiden zudem bei antizipativer/geplanter und reaktiver/spontaner Anpassung zwischen Substituten und Komplementen. Ersetzen geplante Maßnahmen (z. B. Deicherhöhung) spontane Maßnahmen (z. B. Sicherung der Deiche mit Sandsäcken), dann stehen diese beiden Typen von Anpassung in einem substitutiven Verhältnis zueinander. Erhöhen antizipative Maßnahmen den marginalen Nutzen von reaktiven Maßnahmen und umgekehrt (z. B. Informationsbereitstellung und Verwendung hitzeresistenter Getreidesorten), dann sind die beiden Typen komplementär.

Diese Kategorisierung betrifft die Gesamtheit aller Anpassungsaktivitäten. Eine spezifischere Kategorisierung der *staatlichen* Anpassungsaktivitäten erfolgt nach Ausarbeitung der politischen Ziele und Instrumente in Kapitel 15.

Bevor in Kapitel 4 der konkrete Anpassungsbedarf unterschieden nach wirtschaftlichen Sektoren in Deutschland betrachtet wird, wird im nächsten Kapitel kurz aus ökonomischer Perspektive beleuchtet, wie sich die beiden klimapolitischen Optionen *Vermeidung* und *Anpassung* im Spannungsfeld zwischen globalen und lokalen Herausforderungen zu einander verhalten.

⁴ Smit et al. (1999) kategorisieren zudem das Tolerieren oder Erleiden von Auswirkungen des Klimawandels als Effekte der Klimaanpassung. Aus ökonomischer Sicht jedoch sind diese nicht der Anpassung zuzuschreiben, sondern stellen die resultierenden Kosten aus Nicht-Durchführung von Anpassungsmaßnahmen dar.

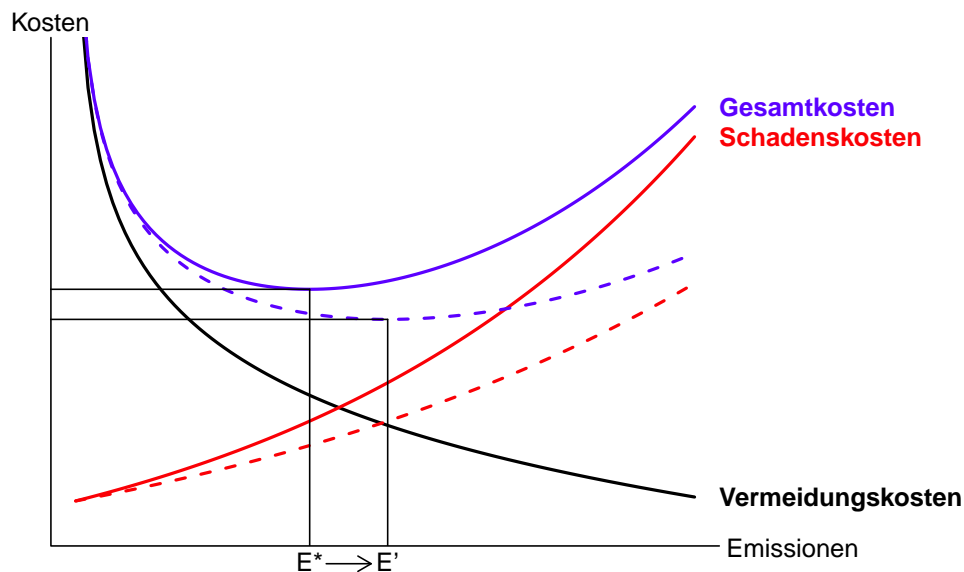
3. Klimapolitische Optionen: Vermeidung und Anpassung

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, dem Klimawandel zu begegnen: *Vermeidung* der Emission von Treibhausgasen und *Anpassung* an die Folgen des Klimawandels. Beide Alternativen zielen zwar darauf ab, die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu verringern, unterscheiden sich jedoch aus ökonomischer Perspektive jedoch erheblich.

Die *Vermeidung* des Klimawandels ist ein globales *öffentliches Gut*. Die Kosten der Vermeidung von Emissionen fallen bei jedem wirtschaftlichen Akteur direkt an, der Nutzen wird jedoch global verteilt und scheint aus individueller Perspektive verschwindend gering. Überlässt man die Entscheidung über die Einsparung von Emissionen zur Vermeidung zukünftiger Schäden durch den Klimawandel dem individuellen ökonomischen Kalkül, dann ist insgesamt mit einer erheblichen Unterinvestition zu rechnen. Daher bedarf es globaler Steuerung, die Vermeidung auf ein sozial optimales Level festlegt. Da jedoch keine globale Institution existiert, die eine solche Lösung erzwingen könnte, ist die Staatengemeinschaft auf die internationale Kooperation angewiesen. Doch auch auf dieser Ebene ergeben sich ähnliche Probleme. Aus Sicht der nationalen Vertretungen befinden sich die Staaten in einem Gefangenendilemma (vgl. Finus, 2000). Die internationale Kooperation bei der Beschränkung der Emissionen würde alle besser stellen, doch es bestehen Anreize von dieser abzuweichen und ausschließlich vom Nutzen aus der Emissionsvermeidung anderer zu profitieren, ohne sich selber an ihr und den damit verbundenen Kosten zu beteiligen.¹ Es kommt zu einem Freifahrerproblem auf internationaler Ebene, welches die Kooperation verhindert. So ist es der globalen Staatengemeinschaft bis heute nicht gelungen, sich auf eine gemeinsame Klimaschutzpolitik zu einigen. Alle Versuche der verbindlichen globalen Reduktion der Emissionen, wie im Kyoto-Protokoll der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) von 1997 angestrebt, sind faktisch gescheitert. Auch der Emissionshandel der EU (EU-ETS) mit dem „Cap and Trade“ Ansatz zur Beschränkung der Emissionen ist momentan politisch auf einem schweren Stand. Dabei ist der Alleingang einzelner Staaten oder Staatenbünde (wie z.B. der EU) wenig sinnvoll, wenn zum Beispiel aufgrund der verminderten Nachfrage über fallende Preise fossiler Brennstoffe der Anreiz für andere Staaten steigt, mehr zu emittieren.

¹ Gleichzeitig besteht jedoch die Möglichkeit bei einem unendlich wiederholten Spiel wie es der Klimaschutz ist, über Sanktionsmechanismen auch spieltheoretisch zu einem Kooperationsergebnis zu gelangen. Doch Sanktionen sind in diesem internationalen Kontext nur schwer durchzusetzen.

Abbildung 3.1.: Klimaschutz und Anpassung



Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist ökonomisch gesehen hingegen weitgehend ein *privates Gut*. Im Einzelfall passt sich jedes Individuum an die negativen Auswirkungen des Klimawandels an (z.B. Absicherung des eigenen Kellers gegen Sturmfluten), trägt selbst die Kosten für das Gut und erhält auch den vollen Nutzen aus der Maßnahme. Es besteht kein Anreizproblem und gesamtwirtschaftlich wird die optimale Allokation erreicht. Obwohl die Anpassung an den Klimawandel somit generell leichter vonstatten gehen sollte als die Vermeidung, gibt es auch bei der Anpassung genügend Gründe für staatliche Eingriffe. Bei vielen nötigen Anpassungsaktivitäten handelt es sich nämlich um regionale oder lokale öffentliche Güter, bei denen zwar der Kreis der Nutznießer und Kostenträger zusammenfällt, die optimale Bereitstellung des Gutes jedoch nur staatlich optimal bewerkstelligt werden kann. Hinzu kommen andere ökonomische und nicht-ökonomische Gründe wie externe Effekte, Verhaltensbarrieren, politökonomische Barrieren, Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit. Diese werden später in Kapitel 6 genauer betrachtet. Hinzu kommt, dass nach dem Vorsorgeprinzip - der Leitlinie der deutschen, EU- und internationalen Umweltpolitik - den Unsicherheiten bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels mit antizipativen Maßnahmen begegnet werden soll. Somit ist die Anpassung an den Klimawandel letztendlich als klimapolitische Option anzusehen, die eine Alternative zur Vermeidung darstellt und über die ebenfalls auf staatlicher Ebene entschieden werden muss.

Wie viel sollte nun in den Klimaschutz und wie viel in die Anpassung an den Klimawandel investiert werden? Zunächst ist diese Frage einfach zu beantworten: Der Grenznutzen der letzten zusätzlich vermiedenen Einheit Treibhausgas sollte den Grenzkosten dieser Vermeidung entsprechen, und ebenso sollte der Grenznutzen der Anpassung an den Klimawandel ihren Grenzkosten entsprechen, um die Kosten des Klimawandels insgesamt zu minimieren. Dabei steigen die Grenzkosten mit Höhe der Vermeidung und Anpassung, während ihr Grenznutzen von den

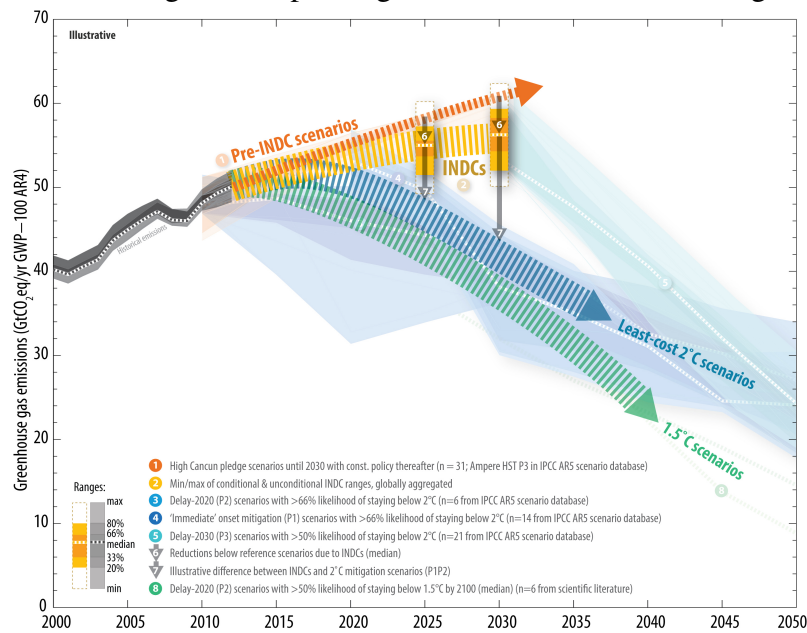
Schadenskosten der Emission abhängig ist. Werden die positiven Effekte der *Vermeidung* von Emissionen vom einzelnen Individuum jedoch nicht vollständig berücksichtigt, zum Beispiel aufgrund der bereits beschriebenen Freifahrerproblematik, dann finden die Schadenskosten der Emissionen im Optimierungskalkül zu geringe Beachtung und es werden mehr Treibhausgase emittiert oder beziehungsweise weniger Emissionen vermieden als es gesellschaftlich optimal wäre (siehe Abbildung 3.1). Daher sollte die Entscheidung nach der Emissionsmenge möglichst auf globaler oder internationaler Ebene angesiedelt sein. Auf der anderen Seite hat eine *ceteris paribus* höhere *Anpassung* an den Klimawandel (z.B. aufgrund technologisch gesunkener Grenzkosten) ebenfalls zur Folge, dass die Schadenskosten pro Emission sinken, der Grenznutzen von Klimaschutz sinkt und damit die Emissionen steigen. In diesem Falle handelt es sich also um einen *Trade-Off* zwischen Anpassung und Vermeidung.² Nicht zuletzt aus diesem Grund wurde Anpassung an den Klimawandel in den politischen Verhandlungen sowie in der wissenschaftlichen Literatur lange Zeit vernachlässigt. Wie Agrawala et al. (2011, S. 247) bemerken: *”Supporting adaptation may have been viewed as an implicit acceptance of climate change and as an excuse to avoid the necessary effort to address its fundamental causes, GHG emissions.”* Doch selbst wenn die Klimaschutzbemühungen in Zukunft erfolgreich sein sollten und die jährlichen Emissionen nicht weiter steigen oder auf längere Frist fallen (z.B. wie in Szenario RCP 4.5 in Abbildung 1.1), kann das Ziel der weltweiten Staatengemeinschaft die Erderwärmung auf 2°C zu beschränken, wahrscheinlich nicht eingehalten werden. Lediglich ein sofortiger und bedeutender Rückgang der jährlichen Emissionen (Szenario RCP 2.6) ließe die Erreichung dieses Zieles zu. Der aktuelle Stand der internationalen Klimaverhandlungen lässt jedoch wenig Hoffnung auf eine solche Entwicklung. Die Ende 2015 bei Pariser UN-Klimakonferenz vorgelegten unverbindlichen Klimaschutz-Zusagen der Nationen³ bis zum Jahr 2030 liegen nur geringfügig unterhalb der bisherigen Entwicklung und sind weit entfernt von einem kosteneffizienten 2°C Klimaschutzpfad (siehe Abbildung 3.2). Sollten sich die jährlichen Emissionen wie geplant entwickeln, muss 2030 ein noch stärkerer Rückgang der weltweiten Emissionen als ohnehin nötig, bewerkstelligt werden, um das 2°C Ziel noch zu erreichen. Auch die experimentellen Forschungsergebnisse der Verhaltensökonomie und die spieltheoretischen Modelle machen wenig Hoffnung auf den Erfolg der globalen Klimaschutzverhandlungen (für einen Überblick siehe Barrett, 2005). Insgesamt kann das baldige Zustandekommen eines global verbindlichen Klimaschutzabkommens, der Erfolg eines unverbindlichen globalen Klimaschutzes oder zumindest eine vollständige Verhinderung des Klimawandels stark bezweifelt werden. Somit rückt Anpassung an den Klimawandel als Handlungsalternative zunehmend in den Vordergrund.

Während beim Klimaschutz schon vor über 20 Jahren erste ernsthafte politische Bemühungen erbracht wurden, kam die Diskussion um die Anpassung an den Klimawandel erst mit dem

² Fallen hingegen die Schadenkosten aufgrund neuer Informationen oder technologischen Fortschritts, dann verringert sich sowohl die optimale Vermeidung als auch die optimale Anpassung aufgrund der gefallen Grenznutzen.

³ engl.: intended nationally determined contributions oder INDCs

Abbildung 3.2.: Geplante globale Emissionsentwicklung



Quelle: UNFCCC (2016, S. 12)

dritten Sachstandbericht des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC; Smit et al., 2001) in Gang.⁴ Es dauerte dennoch einige Jahre bis zum Beispiel die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS, Bundesregierung, 2008) und die Europäische Anpassungsstrategie (EU-Kommission, 2013a) aufgestellt wurden. Diese behandeln den Umgang mit den Auswirkungen auf die vom Klimawandel betroffenen Sektoren. Der Anpassungsbedarf dieser Sektoren an die Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland wird im nächsten Kapitel genauer betrachtet.

⁴ Als weiterer wichtiger Treiber dieser Entwicklung ist vor allem der umstrittene Stern Review (Stern, 2006) zu nennen, der mit erheblichen Kosten des ungebremsten Klimawandels in Höhe von 5 bis 20 Prozent des globalen Bruttoinlandprodukts rechnet.

4. Sektoren mit Anpassungsbedarf

Wie bereits erwähnt, sind die genauen Auswirkungen des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur für Deutschland noch recht ungewiss. Dennoch lassen sich bereits jetzt einige wirtschaftliche Sektoren identifizieren, die sich im Falle gewisser wahrscheinlicher Auswirkungen anpassen werden müssen. Diese werden im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (Bundesregierung, 2008) auch als prioritärer Handlungsbereich oder prioritäres Cluster bezeichnet. Während die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels detaillierter in Anhang A beschrieben werden, beschränkt sich dieses Kapitel auf eine kurze Zusammenfassung des wesentlichen Anpassungsbedarfs in Deutschland, wie sie auch im aktuellen Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie vorgenommen wurde (Bundesregierung, 2015).

Im *Gesundheitsbereich* ist bei hohen Durchschnittstemperaturen und Phasen von extremer Hitze vor allem mit Belastungen für die menschliche Gesundheit zu rechnen. Dabei sind besonders ältere Menschen betroffen. Kurzfristige Anpassungsmaßnahmen können die Einrichtung von Warnsystemen, die Bereitstellung von Verhaltensinformationen oder auch die Verwendung von Klimaanlage im privaten und öffentlichen Bereich sein. Die Belastung verstärkt sich aufgrund des Wärmeinseleffektes in Ballungsräumen im Stadtgebiet zusätzlich. Mögliche Maßnahmen sind dort zum Beispiel die Einrichtung von Freiluftschnitten, Grünflächen, Wasserflächen oder Verstärkung der Reflektion und Isolation bei Bauwerken. In diesem Bereich sind die Planungszeiträume jedoch beträchtlich länger. Auch die durch den Klimawandel veränderte Ausbreitung von tierischen Krankheitsüberträgern bedarf gegebenenfalls der Anpassung.

Im Wasserbereich können vermehrt Schäden durch Überschwemmungen entstehen. An Küsten sind Gebäude und Infrastrukturen durch vermehrte Sturmfluten und einen Anstieg des Meeresspiegels gefährdet. Daraus ergibt sich in den Küstengebieten ein erhöhter Entwässerungsbedarf und Ausbaubedarf für *Hochwasserschutz*. In ganz Deutschland können Starkregen, Sturmfluten und Flusshochwasser zukünftig vermehrte Schäden verursachen, wenn nicht entsprechende Anpassungsmaßnahmen getroffen werden. Neben einer Erhöhung der Deichanlagen werden dann eine Erweiterung natürlicher Retentionsflächen oder Polder und, im Hinblick auf Starkregen, die Anpassung von Entwässerungseinrichtungen wie dem Kanalnetz oder Kläranlagen nötig. Die sich durch den Klimawandel verändernden physikalischen und chemischen Gewässereigenschaften wie Temperatur und Salzgehalt können Auswirkungen auf biologische Prozesse und Artenzusammensetzung der Gewässer haben. Dies hat potenziell schwere Folgen für *Fischbestände* insbesondere in Nord- und Ostsee. Die hier genannten Anpassungsmaßnahmen weisen allesamt lange Planungs- oder Umsetzungszeiten auf. Die Anpassung von Infrastruktur

benötigt nicht nur technisch viel Zeit, sondern auch die Planungsprozesse sind zeitaufwendig, da sie im Rahmen einer integrativen Planung mit vielen anderen Bereichen abgestimmt werden müssen. Der Schutz von Fischbeständen kann hingegen aufgrund der nötigen Zusammenarbeit mit anderen Staaten lange dauern. Zudem benötigen Maßnahmen, die sich auf natürliche Systeme wie die Reproduktion und Wanderung von Fischen auswirken sollen, aufgrund der geringen Beeinflussbarkeit viel Zeit.

Während in der *Landwirtschaft* aufgrund der durch den Temperaturanstieg verlängerten Wachstumsperiode und eines höheren CO_2 -Düngeeffektes bei höherer Konzentration des Treibhausgases von überwiegend positiven Auswirkungen des Klimawandels ausgegangen werden kann, können höhere Lufttemperaturen und geringe Frühjahres- sowie Sommerniederschläge aufgrund von Trockenheit zu negativen Effekten führen. Auch Starkniederschläge und Stürme können Ernten beschädigen und zu Ausfällen führen. Zudem begünstigt der Temperaturanstieg die Ausbreitung von Schädlingen. Aufgrund der relativ kurzen Pflanz- und Erntezyklen kann eine Anpassung an veränderte Bedingungen aufgrund des Klimawandels jedoch vergleichsweise schnell erfolgen. Für die *Forstwirtschaft* sind mit Sturmschäden, der Ausbreitung von Schädlingen bei steigender Temperatur und Waldbrände bei Trockenheit ähnliche Klimaauswirkungen relevant. Die Anpassung kann jedoch aufgrund längerer Zyklen nur wesentlich langsamer vorgenommen werden. Auch der *Naturschutz* muss sich gegebenenfalls zum Erhalt der Biodiversität an den erhöhten Ausbreitungsdruck invasiver Arten anpassen.

Die Veränderung der klimatischen Bedingungen kann außerdem die Anpassung verschiedener *Infrastrukturen* erforderlich machen. Überflutungen und Hitze können Schäden an *Verkehrsinfrastrukturen* wie Straßen oder Schienen bewirken. Gebäude können zusätzlich durch Starkwind beschädigt werden. Während das Stromnetz ebenfalls von diesen Auswirkungen betroffen ist, liegt der Haupthandlungsbedarf im Bereich der *Energieversorgung* vor allem in der Anpassung an die erschwerten Bedingungen bei der Kühlung von thermischen Kraftwerken aus Gewässern in Hitze- und Trockenperioden. Die mit diesen Anpassungen verbundenen Maßnahmen weisen aufgrund der Langlebigkeit der Infrastrukturen allesamt lange Planungshorizonte auf und zeichnen sich darüber hinaus durch einen hohen Koordinationsbedarf mit anderen Planungsbereichen aus.

Die erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeiten aufgrund der zuvor genannten Beeinträchtigung von Infrastrukturen aber auch aufgrund von Produktionsausfällen bei extremen Wetterereignissen führen über alle Sektoren hinweg zu einem Anpassungsbedarf bei *Warenverkehr* und *Produktionsprozessen*. Diesem Problem kann beispielsweise mit einer Diversifizierung der Zulieferer begegnet werden. Aber auch Anpassungen bei privaten Infrastrukturen und Gebäuden sind unter Umständen weitläufig nötig.

Der deutsche Wintersporttourismus wird bei steigenden Temperaturen unter einer verminderten Schneesicherheit leiden, während die höheren Temperaturen an den Küsten und in anderen Regionen den *Tourismus* begünstigen könnten. In beiderlei Hinsicht besteht auch in diesem Bereich Anpassungsbedarf.

5. Fragestellung und Gang der Untersuchung

Vor dem Hintergrund der vorgestellten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel bleiben einige Fragen offen. Zunächst ist Folgendes zu klären: Wie lassen sich die zur Anpassung an den Klimawandel nötigen Aktivitäten generell in die ökonomische Theorie einordnen? Wie kann dabei zwischen privater und staatlicher Verantwortung unterschieden werden und welche Empfehlungen lassen sich aus einer solchen Einordnung für eine optimale Anpassungspolitik ableiten? Im ersten Teil der Arbeit wird Anpassung in einer normativen Analyse ökonomisch verortet, indem untersucht wird, wo mit Markt- oder Staatsversagen zu rechnen ist. Dabei werden nicht nur zu erwartende ökonomische Ineffizienzen berücksichtigt, es werden auch nicht rein ökonomische Aspekte wie Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit als mögliche Gründe staatlicher Eingriffe untersucht. Anschließend werden die staatlichen Eingriffe in die private Anpassungstätigkeit der ökonomischen Theorie der Wirtschaftspolitik zugeordnet. Basierend auf diesen Ergebnissen werden die Ziele und Instrumente einer normativ optimalen Anpassungspolitik hergeleitet.

Im zweiten Teil der Arbeit wird in einer positiven Analyse untersucht, inwiefern die aktuelle Anpassungspolitik in Deutschland die zuvor aufgestellten normativen Vorstellungen erfüllt. Dafür werden die Anpassungsstrategien auf verschiedenen relevanten politischen Ebenen, von Europäischer Union bis Gemeinde, betrachtet. Anschließend werden Verbesserungsvorschläge erbracht, wie die Anpassungspolitik in Deutschland aus normativer Hinsicht verbessert werden könnte.

Im dritten Teil werden schließlich in Form einer präskriptiven Analyse Möglichkeiten zur Unterstützung der staatlichen Anpassung geprüft. Dafür wird untersucht, mit welchen spezifischen Problemen bei der Entscheidungsfindung im Anpassungsbereich zu rechnen ist. Dabei zeigt sich, dass Entscheidungsunterstützungsmethoden für den Einsatz in diesem Gebiet vielversprechend sind, da sie für viele der anpassungsspezifischen Schwierigkeiten eine Lösung bieten können. Der Einsatz von Entscheidungsmethoden wurde in der Anpassungsliteratur bereits oft vorgeschlagen und in der Praxis teilweise bereits umgesetzt. Eine eingehende wissenschaftliche Untersuchung hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterstützung staatlicher Anpassung ist bisher jedoch noch nicht erfolgt. Diese Lücke sucht vorliegende Arbeit zu schließen. Zu diesem Zweck werden zunächst Anforderungen an Entscheidungsmethoden für die Verwendung im Anpassungsbereich aufgestellt, welche sich an den Ergebnissen der normativen Analyse und

den Verbesserungsvorschlägen dieser Arbeit orientieren. Dabei werden besonders die spezifischen Schwierigkeiten der Entscheidungsfindung im Anpassungsbereich berücksichtigt, aber auch sozialpsychologische Faktoren für die Akzeptanz politischer Entscheidungen sowie praktische Gesichtspunkte werden zusätzlich miteinbezogen. Eine Auswahl gängiger Entscheidungsmethoden wird anschließend auf die Erfüllung der verschiedenen Anforderungen hin überprüft und basierend auf den theoretischen Grundlagen dieser Arbeit werden sodann Anwendungspotentiale für die Praxis aufgezeigt. Dabei wird zwischen politischen und administrativen Entscheidungsfeldern unterschieden, um die in diesen unterschiedlichen Anwendungsbereichen auftretenden Probleme differenzierter herauszustellen. Abschließend werden für die Entscheidungsfelder staatlicher Anpassung verschiedene Entscheidungsmethoden empfohlen.

Teil II.

Normative Analyse der Klimaanpassungspolitik

Obwohl die Umsetzung von Klimaanpassung verschiedene wirtschaftspolitische Konsequenzen hat, wurden bisher noch keine entsprechenden wirtschaftspolitischen Ziele und Instrumente definiert. Dabei sind gerade die ökonomischen Implikationen der Klimaanpassung interessant, da die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft vermutlich den stärksten Anreiz zu politischem Handeln geben. Dieser Teil der Arbeit soll aus ökonomischer Perspektive zur Entwicklung wirtschaftspolitischer Ziele und Instrumente der Anpassungspolitik beitragen. In den ersten beiden Kapiteln wird der Stand der ökonomischen Theorie der Klimaanpassungspolitik rekapituliert. Dabei wird vor allem die Legitimation für staatliche Eingriffe in die autonome Anpassung dargelegt (Kapitel 6). Im nächsten Schritt wird Klimaanpassung in die bestehende Theorie der Wirtschaftspolitik eingeordnet (Kapitel 7). Dazu werden ordnungs-, prozess- und strukturpolitische Anforderungen an Klimaanpassung hergeleitet und die Verbindungen zu anderen Politikbereichen identifiziert. Basierend darauf werden im letzten Teil die wirtschaftspolitischen Ziele, Instrumente und Akteure der Klimaanpassungspolitik herausgestellt (Kapitel 8).

6. Legitimation staatlicher Eingriffe

Um die wirtschaftspolitischen Ziele und Instrumente der Klimaanpassungspolitik herleiten zu können, muss zunächst geklärt werden, welche Staatseingriffe aus ökonomischer Perspektive überhaupt legitimiert sind. Die Rolle des Staates aus Sicht der allgemeinen ökonomischen Theorie der Klimaanpassung wurde auch von Osberghaus et al. (2010a) untersucht; weitere aktuelle Entwicklungen der Theorie wurden von Heuson et al. (2014) zusammengestellt. Neben Ineffizienzen bei privater und staatlicher Anpassung, geben Verteilungs- und Gerechtigkeitsaspekte sowie die Gefährdung von Versorgungssicherheit Anlass zum anpassungspolitischen Eingriff.

6.1. Ineffizienz

Eine Klimaanpassungsmaßnahme ist aus ökonomischer Perspektive grundsätzlich durchzuführen, wenn der Nutzen der zu erwartenden Schadensvermeidung die Kosten der Maßnahme übersteigt. Gibt es mehrere Maßnahmen zur Auswahl, dann sollte diejenige mit dem größten Nettonutzen durchgeführt werden (Gawel & Heuson, 2012). Angenommen Klimaanpassung findet auf perfekt funktionierenden Märkten statt, dann koordiniert der Marktmechanismus die Interessen der einzelnen Akteure, sodass eine pareto-effiziente Allokation von Gütern und Dienstleistungen erreicht wird und die Maßnahmen in optimalem Maße durchgeführt werden. Die sich mit dem Klimawandel verändernden Rahmenbedingungen werden, vereinfacht dargestellt, in die Entscheidungen aller Individuen automatisch „eingepreist“ und dementsprechend umgesetzt. In diesem Fall spricht man von autonomer Anpassung.

Nicht in allen Fällen funktioniert der Marktmechanismus bei der Klimaanpassung jedoch effizient. „Freifahrer“-Effekte bei öffentlichen Gütern, negative externe Effekte der Anpassungsmaßnahmen, Moral Hazard oder adverse Selektion in Versicherungsmärkten und Marktmacht sind klassische Ursachen von Marktversagen, die teilweise auch bei der Klimaanpassung anzufinden sind. Es gibt darüber hinaus einige Faktoren, die den Entscheidungsprozess von Individuen beeinflussen und als Barrieren eine rationale, effiziente oder sozial optimale Klimawandelanpassung behindern. Während Verhaltensbarrieren und regulatorische oder institutionelle Barrieren die optimale Anpassung privater Akteure behindern, führen politökonomische Barrieren zu Staatsversagen und ineffizienter staatlicher Anpassung. Zur Beseitigung dieser Barrieren bedarf es gegebenenfalls eines staatlichen Eingreifens.

6.1.1. „Freifahrer“-Effekte bei öffentlichen Gütern

Bei Anpassungsmaßnahmen mit Eigenschaften eines öffentlichen Gutes kommt es zu Marktversagen. So profitieren zum Beispiel beim Deichbau alle Anwohner im betroffenen Gebiet vom Hochwasserschutz und der Nutzen des Deichs für jeden einzelnen ist unabhängig davon, wie viele Nachbarn auch geschützt sind. Die Wirkung der Maßnahmen ist also nicht ausschließbar und nicht rivalisierend, d.h. auch „Freifahrer“ können Nutzen aus den Maßnahmen ziehen ohne für die Bereitstellung zu zahlen.¹ Aufgrund dieser Eigenschaften kommt es zu einer Unterinvestition durch private Akteure und zu einer suboptimalen Allokation, also zu Marktversagen. Die meisten Klimaanpassungsmaßnahmen sind keine reinen öffentlichen Güter, sondern unreine öffentliche Güter dar, da sie zu einem gewissen Grad rivalisierend oder ausschließbar sind. So können zum Beispiel bei dem Bau von Hochwasserschutzanlagen bestimmte (Stadt-)Gebiete mit einbezogen oder vom Schutz ausgeschlossen werden, was einem Klub-Gut mit Ausschließbarkeit und ohne Rivalität entspricht. Oder es können zum Beispiel bei der Bewässerung einer öffentlichen Weidewiese keine Gemeindebewohner von der Nutzung ausgeschlossen werden, aber die Nutzung der Weidewiese ist mit steigender Anzahl der Kühe rivalisierend, was einem Allmendegut entspricht. Nichtsdestotrotz wird auch in unreine öffentliche Güter privat zu wenig investiert, da hohe Transaktionskosten die Vertragsschließung zwischen potentiellen Klubmitgliedern erschweren oder bei Allmenden Überfüllung entstehen kann.

Öffentliche Güter sind bei der Klimaanpassung in den Bereichen Biodiversität (z. B. Einrichtung von Biotopverbundsystemen), öffentliche Infrastruktur (z. B. hitzeresistenter Straßenbelag), Gesundheit (z. B. Grünflächen oder Frischluftkorridore in Städten gegen Hitzestress) und Sicherheit (Reaktorsicherheit und Hochwasserschutz) zu erwarten. Auch die zur Anpassung benötigten Informationen bezüglich des Klimawandels (z. B. Klimamodellberechnungen), dessen Auswirkungen und der Anpassungsmöglichkeiten können die Eigenschaften eines öffentlichen Gutes aufweisen und zu ineffizienter Anpassung führen, wenn zu wenig in die Generierung dieses Wissens investiert wird (Hallegatte et al., 2011). Die meisten Informationen im Bereich Klimaanpassung sind nicht rivalisierend in ihrer Verwertbarkeit. Die Verwendung von Klimaprognosen durch einen Nutzer mindert nicht die Verwendbarkeit der Prognose durch einen anderen Nutzer.² Jedoch ist im Bereich Anpassung ein gewisser Grad an Ausschließbarkeit gegeben, sodass man bei Wissen oder Informationen generell von „unreinen“ öffentlichen Gütern spricht (Stiglitz, 1999, S. 310).³ Generell kann man davon ausgehen, dass allgemeine Infor-

¹ Klassische Beispiele für weitere öffentliche Güter sind saubere Luft und nationale Verteidigung.

² Ein Gegenbeispiel für rivalisierende Informationen findet sich in den Finanzmärkten. Der erwartete Gewinn aus der Nutzung einer Insiderinformation sinkt mit der Anzahl der „Mitwisser“, da diese den Aktienkurs in Richtung des „wahren“ Kurses treiben und damit Abschöpfung des gesamten Effektes der Information durch den Nutzer erschweren.

³ Der Verkauf von öffentlich nicht zugänglichen Datensätzen weist auf ausschließbare Informationen hin. Ein Beispiel dafür ist das zahlungspflichtige Angebot des Climate Service Center (CSC), welches Informationen zum Klimawandel in einer Zusammenstellung umfasst, die nicht öffentlich zugänglich und ausschließbar ist. Wäre Wissen bei der Erstellung unmittelbar öffentlich zugänglich, würde durch den Wettbewerb der Preis dieses Wissens gegen Null gedrückt werden und kein Unternehmen wäre in der Lage, Profit daraus zu schlagen.

mationen eher den Charakter eines öffentlichen Gutes besitzen als spezifische Informationen, da sie einen weiteren Anwenderkreis haben, was es schwieriger macht, sie auszuschließen und was den Freifahrereffekt verstärkt.

Der Staat kann ineffiziente Versorgung mit öffentlichen Gütern beheben, indem er diese Güter selbst bereitstellt, insoweit dies sozial einen Nettonutzenzuwachs darstellt (Fankhauser et al., 1999).⁴ Aufschluss über die theoretisch optimale Menge des öffentlichen Gutes Klimaanpassung gibt die Samuelson Bedingung (Samuelson, 1954): Die Summe der Grenzzahlungsbereitschaften aller Individuen sollte den Grenzkosten der Bereitstellung der Maßnahme entsprechen. Es kann somit auch dazu kommen, dass die Maßnahme gar nicht umgesetzt wird, wenn der summierte Grenznutzen geringer ist als die Grenzkosten der ersten Einheit.

In Bezug auf Klimawandelanpassung unterscheiden Cimato & Mullan (2010) zwischen globalen öffentlichen Gütern (z. B. Biodiversitätsschutz, Klimamodellberechnung, Entwicklung dürreresistenter Getreidearten), nationalen öffentlichen Gütern (z. B. Infrastruktur- und Ökosystemsenschutz oder Gesundheits- und Sicherheitsplanung) und lokalen öffentlichen Gütern (z. B. Deiche und Hochwasserschutz). Die Auswahl der politischen oder administrativen Bereitstellungsebene dieser Güter (global, international, national, regional/föderal, lokal) kann nach dem Subsidiaritätsprinzip vorgenommen werden, welches in der EU und bei föderalen Staaten angewandt wird. Das Subsidiaritätsprinzip basiert ökonomisch auf dem Korrespondenzprinzip des „Fiskalischen Föderalismus“ von Oates (1972), welches besagt, dass eine dezentrale (z. B. regionale) Bereitstellung eines öffentlichen Gutes nur paretooptimal sein kann, wenn die Konsumenten dieses Gutes deckungsgleich mit der Einwohnerschaft der föderalen Einheit sind, die über die Umsetzung entscheidet und die Kosten trägt.⁵ Diese völlige Deckungsgleichheit bezeichnet Oates (1972, S. 34) als „perfekte Korrespondenz“. Die Intuition hinter dem Korrespondenzprinzip ist, dass nur effizient mit öffentlichen Mitteln umgegangen wird, wenn die Bürger, die über Ausgaben entscheiden, auch die finanziellen Konsequenzen tragen (König et al., 1996). Nach dem „Dezentralisierungstheorem“ von Oates (1972) ist eine dezentrale Bereitstellung allerdings nur effizienter oder genauso effizient wie eine zentrale Umsetzung, wenn sich sowohl die Präferenzen der Akteure als auch die externen Effekte des Gutes (Nutzen- und Kostenwirkung) nicht innerhalb dieser föderalen Einheit unterscheiden.⁶ Insgesamt sollen also nach Korrespondenzprinzip und Dezentralisierungsprinzip des „Fiskalischen Föderalismus“ von Oates (1972) die Entscheider über die Anpassungsmaßnahme gleichzeitig Nutznießer und Kostenträger sein, damit effizient nach den relevanten Präferenzen entschieden wird.⁷ Im An-

⁴ Alternativ kann eine Beteiligung aller Profitierenden an der Investition gemäß ihrem Nutzen erzwungen werden, jedoch gestaltet sich die Erfassung des tatsächlichen Nutzens schwierig und es besteht ein Anreiz für die Beteiligten, bei der Angabe ihrer Zahlungsbereitschaft zu untertreiben.

⁵ Man beachte, dass während die räumliche Dimension bei Samuelson (1954) keine Rolle spielt, in der Föderalistentheorie von Oates (1972) das öffentliche Gut nur für eine räumlich begrenzte Teilmenge der Gesamtbevölkerung Nutzen schafft.

⁶ Zudem werden konstante Skalenerträge (Grenz- und Durchschnittskosten) für alle Regionen und Outputniveaus angenommen.

⁷ Es bleibt zu betonen, dass auch diese Theoreme und Prinzipien die Umsetzung von Maßnahmen mit dem Charakter privater Güter, also mit einem individuell beschränkten Wirkungsbereich, auf einer individuellen Ebene

passungsbereich unterscheiden sich die Präferenzen je nach Betroffenheit von der Auswirkung des Klimawandels, auf welche die Maßnahme abzielt. Wenn die Auswirkung des Klimawandels also lokal beschränkt ist, müsste gemäß fiskalischem Föderalismus lokal beschlossen, über lokale Steuerzahler finanziert und durch lokale Behörden umgesetzt werden.

6.1.2. Negative externe Effekte von Anpassungsmaßnahmen

Negative externe Effekte können ebenfalls zu Marktversagen führen. So kann der Deichbau flussaufwärts, das Hochwasserrisiko flussabwärts erhöhen oder die Bewässerung von Feldern mit anderweitiger Nutzung von Wasserquellen konkurrieren. Diese Effekte werden jedoch bei der Investitionsentscheidung flussaufwärts nicht berücksichtigt und es findet keine optimale Anpassung statt. Auch die Emissionzunahme bei der Verwendung von Klimaanlagen stellt ein weiteres Beispiel dar. Bei solchen lokalen Anpassungsmaßnahmen mit negativen externen Effekten, kann also die dezentrale Umsetzung von Maßnahmen sozial ineffizient sein. In diesem Falle können entweder die Kosten der negativen Effekte zum Beispiel über Steuern internalisiert werden oder es kann alternativ dazu eine staatliche Koordination erfolgen (Gawel & Heuson, 2011). Osberghaus et al. (2010a) weisen darauf hin, dass dabei auch Konflikte zwischen zentralen politischen Entscheidungsträgern und lokalen Behörden zu Ineffizienzen führen können.

6.1.3. Moral Hazard und adverse Selektion in Versicherungsmärkten

Auch in Versicherungsmärkten kann es zu Marktversagen in Bezug auf den Klimawandel kommen. Optimalerweise müssten sich risikoaverse Individuen, insofern sie keine Klimaanpassung betreiben oder Restrisiken abdecken wollen, gegen die Folgen des Klimawandels bei risikoneutralen Versicherungsanbietern versichern können. Die Versicherer nutzen theoretisch das Gesetz der großen Zahlen und ihre Kenntnis der Schadensverteilung, um risikoneutral jedem Versicherungsnehmer eine faire Versicherung anbieten zu können, bei der die Prämie dem erwarteten Schaden entspricht. Ein generelles Problem bei Versicherungen ist jedoch, dass Versicherungsnehmer Einfluss auf ihr eigenes Risiko haben und, einmal versichert, nicht mehr den vollen Aufwand der Schadensvermeidung betreiben (*moral hazard*: Arrow, 1963). Versicherer können somit keine perfekte Versicherung anbieten und es kommt zu Ineffizienzen.⁸ Derselbe Effekt tritt auf, wenn staatliche Katastrophenhilfe versprochen oder implizit seitens der Bevölkerung erwartet wird, dann sinkt der Anreiz, Anpassungsmaßnahmen durchzuführen oder sich entsprechend zu versichern (Kaplow, 1991; Botzen et al., 2009). Dieser Effekt ist seit Buchanan (1975) unter dem Begriff „Samariter Dilemma“ bekannt. Ein weiteres Problem ist folgendes:

befürworten (Konrad & Thum, 2014). Wenn der Nutzen und die Kosten einer Maßnahme, ohne Externalitäten, bei ein und derselben ökonomischen Wirtschaftseinheit anfallen, dann wird diese effizient über die Umsetzung dieser entscheiden. Private Anpassungsmaßnahmen sollten also auf der am meisten dezentralisierten Ebene von privaten Konsumenten, Eigentümern und Unternehmen durchgeführt werden. Dacharbeiten zur Verhinderung von Sturmschäden zum Beispiel sind von den Hausbesitzern durchzuführen und die Klimatisierung einer Fabrikhalle gegen Produktionsausfälle in Hitzeperioden, von dem Unternehmen zu bezahlen.

⁸ Teilhaftung bei Schäden kann die Anreize zu Moral Hazard mindern, jedoch nicht komplett beseitigen.

Wenn das Schadensrisiko der Versicherungsnehmer eine private Information darstellt, wird der Anteil an besonders gefährdeten Versicherten besonders hoch sein (*adverse selection*: Rothschild & Stiglitz, 1976). In diesem Fall kann der Staat nur durch Informationsbereitstellung und Regulierung (z. B. Baustandards) helfen, die Risiken möglichst genau abschätzbar zu machen. Beide Phänomene führen zu erhöhten Prämien und zu nur teilweiser Versicherung, insgesamt also zu einem ineffizienten Ergebnis.⁹ Außerdem sind die Wahrscheinlichkeiten des Eintretens von Extremereignissen schwer einzuschätzen und, da die Häufigkeit so gering ist, lässt sich das Gesetz der großen Zahlen nicht anwenden. Mills (2005) zeigt, dass der Klimawandel die versicherungstechnische Unsicherheit erhöht und daraus tatsächlich nicht nur erhöhte Prämien resultieren, sondern auch eine verringerte Verfügbarkeit von Versicherungen. Wenn Versicherer Extremereignisse nicht abdecken oder es aus den oben genannten Gründen (Moral Hazard/Adverse Selektion) zu sonstigen Ineffizienzen kommt, dann stellen neben Forschungsförderung und Informationsbereitstellung Pflichtversicherungen eine alternative Lösung dar. Es gibt grundsätzlich vier verschiedene Formen von Pflichtversicherungen: Versicherung bei privaten Anbietern (z. B. KFZ-Haftpflicht), bei staatlich regulierten privaten Anbietern (z. B. Krankenversicherung), beim Staat (als Monopolanbieter) und verpflichtend inbegriffen in andere Sachversicherungen (Präventionsstiftung, 2009).¹⁰ Bei einem staatlichen Mandat müssten die Konditionen dann so berechnet werden, dass auch der Moral Hazard Effekt beachtet wird. Osberghaus et al. (2010a) weisen jedoch auch darauf hin, dass diese Lösung versicherungsrechnerisch nicht gerecht ist, da eine einheitliche Prämie bei unterschiedlich risikobehafteten Kunden bezogen wird.

6.1.4. Regulatorische und institutionelle Barrieren

Wie Heuson et al. (2014) herausstellen, kann es zudem auch regulatorische und institutionelle Barrieren geben, die private Anpassung behindern. So sind rechtliche und institutionelle Rahmenbedingungen für das effiziente Funktionieren eines Marktes nötig, da die Einhaltung und Durchsetzung von Ansprüchen und Verträgen die Basis für jede wirtschaftliche Interaktion darstellt.¹¹ Staatliche Regulierung oder Gesetzgebung kann, wenn sie zu restriktiv ist, private Anpassung jedoch auch verhindern.

⁹ Nach Schätzung des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) hatten 2012 in Deutschland nur 32 Prozent der Haushalte eine Elementarschadenversicherung gegen Schneedruck, Hochwasser, Erdrutsche, Erdbeben oder Starkregen. 99 Prozent der Haushalte seien aber versicherbar. (Quelle: <http://www.gdv.de/2013/06/wo-die-meisten-haeuser-gegen-hochwasser-versichert-sind/>)

¹⁰ Bei der Krankenversicherung verpflichtet der Staat alle Bürger sich bei privaten Anbietern zu versichern, die teilweise jedoch staatlich reguliert sind und entsprechende Versicherungen anbieten müssen (GKV). Ein anderes Beispiel stellt die KFZ-Haftpflicht dar, in der die Anbieter nicht in diesem Maße reguliert sind und die nur von KFZ-Besitzern abgeschlossen werden müssen. Eine weitere Lösung wäre, dass der Staat als Monopolanbieter entsprechende Risiken verpflichtend versichert oder dass Klimaauswirkungen obligatorisch in anderen Sachversicherungen inbegriffen werden.

¹¹ Zum Beispiel spielt die Definition und die Durchsetzung von Eigentumsrechten bezüglich des Guts Wasser bei der Anpassung in der Landwirtschaft eine entscheidende Rolle. Die wirtschaftspolitische Notwendigkeit der rechtlichen Rahmenbedingungen wird ausführlicher in Kapitel 7.1 diskutiert.

Klassische Monopol- oder Oligopolmärkte wie zum Beispiel der Energiemarkt unterliegen staatlicher Regulierung und sind gleichzeitig stark vom Klimawandel betroffen. Der Transport von Strom (aber auch von Wasser) weist steigende Skalenerträge und Netzwerkexternalitäten auf, d.h. die Transportkosten pro Einheit fallen mit der Größe des Netzes. Dies kann zu natürlichen Monopolen oder Oligopolen mit Marktmacht führen, in denen ein sozial suboptimaler Monopol- oder Oligopolpreis verlangt wird.¹² Der Staat kann in diesen Fällen durch Preisregulierung von Netzbetreibern ein effizienteres Ergebnis erzielen. Zwar erreichen auch regulierte Märkte, verglichen mit Märkten mit perfektem Wettbewerb, kein soziales Optimum, jedoch kann durch Preisregulierung eine Second-Best-Lösung erreicht werden, in der die Betreiber ihre Monopol- oder Oligopolrente nicht komplett ausschöpfen. Wichtig ist, dass bei jeglicher Regulierung der Energiemärkte oder Wassermärkte die klimatischen Veränderungen mitbeachtet werden, da sonst eventuell effiziente private Anpassung behindert wird.

6.1.5. Verhaltensbarrieren

Unsicherheiten und intertemporale Entscheidungen im Anpassungsbereich führen zu Ineffizienzen, die unter dem Sammelbegriff *Verhaltensbarrieren* (behavioural barriers) untersucht werden und die ihre Erkenntnisse vorwiegend aus der psychologischen Forschung beziehen. Die meisten Probleme rühren daher, dass Individuen bei der Entscheidungsfindung mit der Fülle an Informationen und Unsicherheiten kognitiv überfordert sind. Aus ähnlichen Gründen führte Simon (1982) das Konzept der begrenzten Rationalität bei ökonomischer Modellierung ein. Adger et al. (2007) fassen diesbezüglich vier generelle Erkenntnisse aus der Literatur zur Klimawandelanpassung zusammen: Wissen über Klimawandelauswirkungen und entsprechende Lösungen führen nicht unbedingt zu Klimaanpassung; Wahrnehmung von Klimawandelrisiken ist unterschiedlich und abhängig von verschiedenen Faktoren; Wahrnehmung von Vulnerabilität und Anpassungskapazität ist unterschiedlich und abhängig von verschiedenen Faktoren; Angst und Schuld steigert nicht zwangsläufig die Motivation zu Anpassungsverhalten. Insgesamt zeigen Oppenheimer & Todorov (2006), dass Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Klimawandels verbunden mit individueller und sozialer Wahrnehmung von Risiko, die Entscheidungen bezüglich des Klimawandels beeinflussen. Die alleinige Bereitstellung von Informationen führt dabei nicht unbedingt zu effizienter Anpassung (Osberghaus et al., 2010b).

Generell tendieren Menschen dazu, kurzfristigen Zahlungen ein hohes Gewicht beizumessen, während sie weit in der Zukunft liegende Zahlungen besonders stark abwerten (Thaler, 1981). Diese hyperbolische Diskontierung kann zu zeitlich inkonsistenten Präferenzen führen (Laibson, 1997). Diese wiederum könnten das Hinausschieben von Anpassung oder “strategische Ignoranz” bei der Beschaffung von neuen Informationen erklären (Carrillo & Mariotti, 2000). Auch andere Modelle versuchen Verzögerungen zu erklären. O’Donoghue & Rabin

¹² Bei Oligopolen kann dies aufgrund der vereinfachten Möglichkeit zu Preis- oder Mengenabsprachen, Preisführerschaft oder Preisimitation passieren.

(2001) zeigen zum Beispiel, dass sogar rationale Individuen mit steigender Anzahl an Auswahlmöglichkeiten und steigender Bedeutung der Entscheidung prokrastinieren, wenn sie ein Selbstkontrollproblem haben, sogar wenn dies für sie zu signifikanten Verlusten in der Zukunft führt.

Weiter beinhalten Entscheidungen zur Klimaanpassung umfangreiche und komplexe Informationen wie zum Beispiel Ursachen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Auswirkungen von Klimarisiken. Die Beschaffung und Verarbeitung dieser Informationen zu einer Entscheidung kann Menschen an ihre kognitiven Grenzen bringen (z.B. Grothmann & Patt, 2005). Besonders bei schnellen Entscheidungen tendieren Menschen daher zur Verwendung von kognitiven Entscheidungsheuristiken (für einen Überblick siehe Kahneman, 2011), die als potentielle Verhaltensbarrieren für Klimaanpassung besonders relevant sind, da sie die fehlerhafte oder verzerrte Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten und Häufigkeiten bewirken. Der sogenannte Framing-Effekt führt dazu, dass die Art der Fragestellung die Entscheidung beeinflusst (Tversky & Kahneman, 1981; Kahneman & Tversky, 1984). Bei einem positiv formulierten Auswahlproblem (z. B. von 600 Personen „200 Leben retten“ oder „mit Wahrscheinlichkeit 33% keine Leben retten, mit Wahrscheinlichkeit 66% alle Leben retten“) tendieren Menschen zu der sicheren Alternative, bei einem negativ formulierten Auswahlproblem (z. B. von 600 Personen „400 Personen sterben“ oder „mit Wahrscheinlichkeit 33% alle sterben, mit Wahrscheinlichkeit 66% keiner stirbt“) tendieren die meisten zu der riskanten Alternative. Vom „Framing“ der Fragestellung kann also abhängen, ob der Entscheider risikoaffin oder risikoavers entscheidet. Die Verwendung von Begriffen wie „Überlebensrate“ kann im Vergleich zum Begriff „Mortalitätsrate“ zudem die Auswahl einer Alternative erhöhen. Weiter können bei der Entscheidungsfindung aufgrund der sogenannten Ankerheuristik irrelevante Informationen im Entscheidungsprozess die Entscheidung verzerren. Werden zum Beispiel vor der Entscheidung hohe Zahlen genannt, kann dies zu höheren Schätzungen führen. Die Verfügbarkeitsheuristik bei der Entscheidungsfindung führt zu systematischen Fehlern, da Häufigkeiten oder Wahrscheinlichkeiten mittels der Leichtigkeit des Erinnerns eingeschätzt werden, die jedoch durch eigene Erlebnisse oder Massenmedien beeinflusst werden können. Auch Tendenzen zu Optimismus bei der Einschätzung von eigenen Gewinnen (Überschätzung von Nutzen und Unterschätzung von Kosten) und Selbstüberschätzung bei der Qualität der eigenen Einschätzung wurden nachgewiesen. Schließlich tendieren Menschen auch zu eskalierendem Commitment. Das heißt sie ignorieren Wahrscheinlichkeiten, wenn sie weiter in Fehlanlagen investieren.

Auch bei Versicherungen gegen Klimawandelauswirkungen zeigen sich Verhaltensbarrieren. Kunreuther (1996) stellt heraus, dass Menschen die Wahrscheinlichkeiten für Extremereignisse unterschätzen und den erwarteten Nutzen aus Versicherungen zu stark diskontieren. Kunreuther et al. (2001) zeigen zudem, dass die Suchkosten von Informationsbeschaffung und -verarbeitung Individuen von Auswahl und Abschließen einer Versicherung abhalten können, auch wenn sie sich die Prämie leisten könnten. Dies führt dazu, dass sich häufig nicht gegen Extremereignisse oder Elementarschäden versichert wird. Auch hier wäre die staatlich verordnete Pflichtversi-

cherung eine Lösung.

6.1.6. Politökonomische Barrieren

Wird Klimaanpassung staatlich geplant betrieben, dann geschieht dies in Deutschland im Rahmen repräsentativer Demokratie über gewählte politische Entscheidungsträger verschiedener Ebenen (Bund, Länder, Kommunen). Die konkrete Umsetzung hingegen fällt unterschiedlichen Behörden zu. Gemäß der Neuen Politischen Ökonomie liefert dieser politische Prozess wegen *politökonomischer Barrieren* jedoch nicht immer optimale Ergebnisse (Gawel et al., 2012). Politische Entscheidungsträger können nämlich in ihren Entscheidungen von eigenen Interessen geleitet sein und somit ineffiziente Anpassung betreiben. So ist vorstellbar, dass sich politische Akteure bei ihren Entscheidungen nicht ausschließlich an der sozial optimalen Lösung orientieren.¹³ Aspekte wie Prestige, Macht, privater Geldvorteil, Bemühungen von Lobbygruppen oder Risikominimierung bezüglich der nächsten Wahl können bei politischen Entscheidungen ebenso eine Rolle spielen.

Politische Entscheidungsträger können von Lobby-Gruppen beeinflusst werden, die Rent-Seeking (Tullock, 1980; Stigler, 1971; Peltzman, 1976) betreiben, um die Anpassungsentscheidungen zu ihrem Vorteil zu beeinflussen. Solche Lobbygruppen sind in verschiedensten Bereichen denkbar: Spezialisierte Unternehmen könnten politische Entscheidungen beispielsweise dahingehend beeinflussen, dass unternehmenseigene Leistungen bei der Umsetzung von Klimaanpassung bevorzugt werden. So könnten Unternehmen, die auf Deichbau oder Hochwasserschutzmauern spezialisiert sind, durch Einflussnahme auf den politischen Entscheidungsprozess, die Durchsetzung technischer Lösungen bewirken, obwohl andere Maßnahmen wie die Umsiedlung betroffener Einwohner vorteilhafter wären. Auch könnte die Raumplanung dahingehend beeinflusst werden, dass auf eine Erweiterung von Polderflächen als Alternativmaßnahme verzichtet wird. Darüber hinaus sind Ineffizienzen bei der Planung und Umsetzung zu erwarten, wenn Bürokraten ihre Ausgaben maximieren (Niskanen, 1968; Brennan & Buchanan, 1980). Dann kann es dazu kommen, dass unabhängig von Bedarf und Effizienz besonders aufwändige Maßnahmen gewählt werden. Auch Aufwandsminimierung bei Bürokraten (Migué et al., 1974; Wyckoff, 1990) stellt aus politökonomischer Perspektive ein potentiell Problem dar, welches eines staatlichen Eingreifens bedarf. Demnach verwenden Bürokraten Ressourcen nicht immer effizient, sondern wählen gegebenenfalls Alternativen mit dem geringsten persönlichen Arbeitsaufwand.

Die Beseitigung dieser Barrieren erfordert ein Monitoring der staatlichen Klimaanpassung. Dieses kann nur erfolgen, wenn die Entscheidungsprozesse transparent sind. Zumeist sind Klimaanpassungsentscheidungen jedoch sehr komplex und die Optimalität einer Maßnahme ist

¹³ In Wirklichkeit ist die sozial optimale Lösung nur selten eindeutig bestimmbar. In der Neuen Politischen Ökonomie wird deshalb davon ausgegangen, dass ein wohlwollender politischer Planer sich gemäß Median-Wähler-Theorem nach der Wählerstimmenmaximierung richtet, die zumindest aus Sicht der Wähler die optimale Lösung widerspiegelt.

nur schwer eindeutig feststellbar. Zur Überprüfung politischer Entscheidungen bedürfte es also rationaler und nachvollziehbarer Methoden, die die Effekte politökonomischer Barrieren minimieren. Die Eignung der verschiedenen Entscheidungsmethoden zu Zwecken dieser Art wird in Teil IV untersucht.

6.2. Verteilungs- und Gerechtigkeitsaspekte

Neben ineffizienter privater und staatlicher Anpassung, kann auch die Verteilungsgerechtigkeit ein Grund für staatliches Eingreifen in die Klimaanpassung sein. Selbst wenn private Anpassung effizient ist, muss sie von der Gesellschaft nicht als gerecht empfunden werden (Mendelsohn, 2000).

Bisher hat sich kein ökonomisches Konzept zur Definition von Gerechtigkeit etabliert. Gemäß Rawls (1971) ist Gerechtigkeit theoretisch so zu definieren, wie sie in einem Zustand allgemein unbekannter Positionen innerhalb der Gerechtigkeitsordnung (veil of ignorance) von allen beschlossen werden würde. Nach Rawls' Differenzprinzip müssten, basierend auf Chancengleichheit, die sozialen und ökonomischen Ungleichheiten zum größten Vorteil der am meisten Benachteiligten verändert werden. Mit diesem Ansatz wäre zum Beispiel die progressive Besteuerung in vielen Ländern zu rechtfertigen, bei der von Steuerzahlern mit hohem Einkommen zu denen mit niedrigem Einkommen umverteilt wird. Generell wird zwischen vertikaler und horizontaler Gerechtigkeit unterschieden (siehe Atkinson & Stiglitz, 1980), wobei sich vertikale Gerechtigkeit auf die Verteilung der Einkommen und horizontale Gerechtigkeit auf gleiche Chancen bei gleichen Bedingungen, oder "Gleichheit vor dem Gesetz", bezieht. Da sich der Klimawandel regional und individuell unterschiedlich auswirkt, hat er in Form von Anpassungs- oder Schadenskosten direkten Einfluss auf die Verteilung der verfügbaren Einkommen der Bevölkerung und somit auf die Verteilungsgerechtigkeit gemäß vertikaler Gerechtigkeit. So sind bei Hitzewellen zum Beispiel vor allem ältere Menschen gefährdet und der Osten Deutschlands wird stärker von Trockenheit betroffen sein als der Westen.

Klimaanpassung aus der Gerechtigkeitsperspektive bezieht sich jedoch vor allem auf die autonome Umsetzbarkeit von Anpassungsmaßnahmen durch einkommensschwache Haushalte. So kann durch steigende Energiekosten beispielsweise die Kühlung in Hitzeperioden für einzelne Haushalte erschwert werden oder gar verwehrt bleiben. Der staatliche Eingriff liegt hierbei vor allem im Bereich der Energiepolitik bei der Sicherung grundlegender Energieversorgung. Adger & Kelly (1999) und Kelly & Adger (2000) machen Anpassungskapazität und Vulnerabilität sowohl von der allgemeinen Verfügbarkeit von Ressourcen als auch vom Zugang zu Ressourcen für die Entscheidungsträger und die Bevölkerung abhängig.

Ebenso verhält es sich mit Versicherungen gegen klimawandelbedingte Schäden. Der Zugang zu entsprechenden Versicherungen sollte ebenfalls gerecht verteilt sein. Die durch den Klimawandel erhöhten Prämien stellen jedoch eine Gefährdung der Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit solcher Versicherungen für Haushalte unterer Einkommensschichten dar (Mills, 2005).

Hier kann gemäß des Konzepts horizontaler und vertikaler Gerechtigkeit argumentiert werden, dass der Markt kein gerechtes Ergebnis erreicht und somit ein staatlicher Eingriff nötig ist (z. B. Pflichtversicherung oder Subventionierung von Versicherungsprämien in bestimmten Gebieten).

Wird Anpassung staatlich bereitgestellt, ist darauf zu achten, dass sie gerecht ist. Aus dem Gesichtspunkt der horizontalen Gerechtigkeit sollten also alle Haushalte den gleichen staatlichen Schutz vor den Auswirkungen des Klimawandels erhalten. Dies kann jedoch der ökonomisch effizienten Auswahl von Maßnahmen gemäß Kapitel 6.1 widersprechen, wenn der Schutz in manchen Regionen aufgrund natürlicher Gegebenheiten ineffizient ist. Werden zum Beispiel die Bewohner eines dicht besiedelten Gebietes mit einem Deich vor Überschwemmungen geschützt, da dort der Nettonutzen positiv ist, während Landbewohner wegen unverhältnismäßiger Kosten nicht geschützt werden, dann verstößt dies gegen das horizontale Gerechtigkeitskonzept. Der Staat könnte die Geschädigten jedoch entsprechend entschädigen. Um vertikale Gerechtigkeit zu erreichen müsste der Staat so umverteilen (z. B. durch Steuern, Direkthilfen, Katastrophenfonds usw.), dass trotz der Klimaauswirkungen keine zu großen Unterschiede in der Bevölkerung entstehen und alle Grundbedürfnisse befriedigt werden können.¹⁴

6.3. Gefährdung der Versorgungssicherheit

Als Motiv für staatliche Eingriffe kommt auch das Ziel der Versorgungssicherheit in Betracht. Manche Güter und Dienstleistungen sind so essenziell, dass sie zu den Grundbedürfnissen gezählt werden, und dass vom Staat erwartet wird, die Versorgung damit jederzeit sicherzustellen. Meist wird im Bereich Energie und vor allem bei Strom von Versorgungssicherheit gesprochen, aber auch Wasser oder Nahrung können in diesen Bereich fallen. Man kann davon ausgehen, dass ein Ausfall oder Mangel in einem dieser Bereiche bedeutende Auswirkungen auf das menschliche Wohlergehen oder die wirtschaftliche Produktion hat. Der Klimawandel nimmt Einfluss auf alle drei dieser Gebiete und somit auch auf die Versorgungssicherheit. Dem Staat fällt dabei nicht unbedingt die Rolle des Anbieters, sondern eher die des Regulierers zu.

Versorgungssicherheit im Bereich Energie gilt als wichtiger Teil der Energiepolitik und kann sogar selbst als öffentliches Gut interpretiert werden (Abbott, 2001). Wie in Kapitel A.5 bereits beschrieben, hat der Klimawandel wichtige Auswirkungen auf die Strom-Versorgungssicherheit. In längeren Hitzeperioden haben thermische Kraftwerke einen geringeren Wirkungsgrad und die Netze haben eine geringere Übertragungskapazität, in Trockenperioden muss bei Kühlwassermangel die Leistung gedrosselt werden und schließlich können auch Extremwetterereignisse (z. B. Stürme, Eislasten) zu Versorgungsunterbrechungen führen (Dunkelberg et al., 2011).

Im gleichen Zuge mit der in Kapitel 6.1 erwähnten Preisregulierung, könnten auch Auflagen

¹⁴ Gäbe es keine Transaktionskosten, dann könnte der Staat vertikale Gerechtigkeit theoretisch auch durch nicht preisverzerrende Pauschalumverteilung effizient erreichen.

bezüglich der Versorgungssicherheit gemacht werden. Die Regulierung ist dabei so auszugestalten, dass die Versorgung auch bei klimawandelbedingter Stromknappheit gesichert und die resultierenden Kosten eingepreist sind. Osberghaus et al. (2010a) weisen darauf hin, dass bei Stromknappheit in unregulierten Strommärkten die Preise aufgrund der unelastischen Nachfrage theoretisch sehr stark ansteigen können. Dies wäre zwar ökonomisch gesehen effizient, könnte aber bereits als Gefährdung der Versorgungssicherheit ausgelegt werden. So überwacht in Deutschland die Bundesnetzagentur (BNetzA) die Netzbetreiber, die wiederum verpflichtet sind, Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Insgesamt gilt es zwischen Effizienz und Versorgungssicherheit abzuwägen, da mit erhöhter Versorgungssicherheit auch die Kosten steigen.

7. Einordnung von Klimaanpassung in die Theorie der Wirtschaftspolitik

Die ökonomische Literatur hat sich über Jahrzehnte mit der theoretischen Systematisierung von Wirtschaftspolitik befasst, wobei sich grundlegende und weitgehend akzeptierte Anforderungen an die Politik herauskristallisiert haben. In diesem Kapitel soll das relativ junge Feld der Klimaanpassung nach dieser Systematisierung strukturiert werden, um daraus wirtschaftspolitische Ziele und Instrumente für die staatliche Klimaanpassungspolitik abzuleiten.

Die durch Eucken (1952) geprägte Definition von Wirtschaftspolitik unterscheidet grundsätzlich zwischen Ordnungspolitik und Prozesspolitik. Ordnungspolitik stellt dabei den Rahmen für die ökonomischen Aktivitäten der Wirtschaftssubjekte bereit. Dies beinhaltet sowohl die Festlegung von Grundregeln für das Verhalten untereinander, als auch die Ausweisung möglicher wirtschaftspolitischer Eingriffe und entsprechender Kompetenzen des Staates. Prozesspolitik hingegen beinhaltet die Beeinflussung gesamtwirtschaftlich relevanter Faktoren innerhalb des ordnungspolitischen Rahmens. Sowohl der Begriff Ordnungspolitik als auch der Begriff Prozesspolitik umfassen dabei verschiedene Politikfelder. Weiterhin wird auch oft Strukturpolitik als Teilbereich von Ordnungspolitik und Prozesspolitik betrachtet. Dabei wird nach dem Wirkungsbereich zwischen regionaler und sektoraler Strukturpolitik unterschieden (Klump, 2011, S.30).

Das folgende Kapitel soll die im vorigen Kapitel legitimierten Eingriffsbereiche staatlicher Klimaanpassungspolitik in diese Systematisierung einordnen (Kapitel 7.1 bis 7.3). Zuletzt soll in Kapitel 7.4 auch der Mainstreaming-Ansatz diskutiert werden, der vorsieht, dass Klimaanpassungspolitik umfassend in bereits bestehende Politikfelder eingebunden werden soll. Dafür werden die Überschneidungen mit anderen Politikbereichen aufgezeigt.

7.1. Ordnungspolitische Einordnung

Die grundlegenden rechtlichen Rahmenbedingungen spielen auch für Klimaanpassung eine bedeutende Rolle. Damit Anreize zur Anpassung gegeben sind, müssen Eigentumsrechte klar definiert und durchsetzbar sein. Vereinfachend gesagt: Nur das, was klar als Eigentum erkannt wird, wird als schützenswert vor den Auswirkungen des Klimawandels erkannt werden. Dies gilt sowohl für autonome als auch staatliche Anpassung. Osberghaus et al. (2010a) weisen darauf hin, dass ohne ein funktionierendes Eigentumsrechtssystem und einen angemessenen insti-

tutionellen Rahmen keine langfristigen Investitionen stattfinden, die für Anpassungsstrategien nötig sind. Beispielsweise kann ein landwirtschaftliches Bewässerungssystem nur umgesetzt werden, wenn das Eigentumsrecht für die benötigte Wasserquelle geklärt ist. Wichtig für die Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen ist zudem das Vertrags- und Haftungsrecht, welches wirtschaftliche Aktivitäten zwischen Individuen regelt. Wenn zum Beispiel der Bau des Bewässerungssystems bei einem darauf spezialisierten Unternehmen in Auftrag gegeben wird, sichert das Vertragsrecht, dass die Leistung (Bezahlung) des Auftraggebers und Gegenleistung des Ausführenden (Bau des Bewässerungssystems) jeweils rechtlich einforderbar sind, wenn der Vertrag rechtens geschlossen wurde. Das Haftungsrecht sichert, dass Verursacher von Schäden auch für diese haften. Ohne diese beiden Rechte ist eine ökonomische Interaktion bei der Anpassung an den Klimawandel kaum denkbar. Weiterhin müssen auch die Autoritäts- und Zwangsrechte geklärt werden, nach denen der Staat selber Eingriffe leisten kann. Beispiele sind das für die Klimaanpassung relevante Raumordnungsgesetz oder das Recht für Fachplanung. Ordnungspolitisch kommt dem Staat bei der Klimaanpassung also zunächst die Aufgabe der Schaffung eines rechtlichen Rahmens zu. Die Ausgestaltung der in diesem Zusammenhang zu spezifizierenden Regeln erfolgt dabei über die drei staatlichen Gewalten (Streit, 2005, S. 66): Gesetzgebung (Legislative), Regierung und Verwaltung (Exekutive) und Rechtsprechung (Judikative). Alle Regeln tragen dabei zur Vorhersehbarkeit von Rahmenbedingungen und damit zur Erleichterung dezentraler Planung von privater Anpassung bei.

Eine weitere ordnungspolitische Rolle kommt dem Staat beim Verhindern von Moral Hazard und Adverser Selektion im Bereich Versicherung zu. Das Setzen von Gebäudestandards und die Veröffentlichung von Registern gehören ebenso dazu, wie die Verminderung von Informationsasymmetrien durch Informationsbereitstellung.

Um die Durchdringung der politischen Entscheidungen mit Eigeninteressen oder die Beeinflussung durch Interessengruppen zu vermeiden, kann auch die Festlegung von strukturierten Entscheidungsmethoden, als Basis für politische Entscheidungen, und für die Umsetzung durch die Verwaltung als ordnungspolitische Grundentscheidung eingeordnet werden.

Schließlich könnte auch die Regulierung natürlicher Monopole zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit als ordnungspolitische Aufgabe des Staates angesehen werden. Die Ausrichtung von staatlichen Institutionen wie der Bundesnetzagentur zur Überwachung und Ausgestaltung dieses Zieles unter Beachtung des zukünftigen Klimawandels wäre ein Beispiel dafür.

7.2. Prozesspolitische Einordnung

Die ordoliberalen Lehre von Eucken (1952) fordert, dass sich der Staat auf die ordnungspolitischen Rahmenbildungen beschränkt, um ein reibungsloses Funktionieren des Marktes zu gewährleisten. Es gibt jedoch eine starke theoretische und praktische Evidenz für Marktversagen

trotz einwandfreier ordnungspolitischer Rahmenbedingungen (siehe dazu Fritsch, 2011).¹ In diesen Fällen ist das lenkende Eingreifen in den Wirtschaftsablauf der Prozesspolitik zu rechtfertigen. Im Folgenden werden die prozesspolitischen Ansatzpunkte für staatliche Eingriffe bei der Klimaanpassung aufgezeigt.

Wie in Kapitel 6.1 bereits dargelegt, muss der Staat, soweit Klimaanpassung etwa die Eigenschaften eines (teil-)öffentlichen Gutes hat oder andere Formen des Marktversagens gegeben sind, gegebenenfalls bestimmte Maßnahmen selbst durchführen oder private Aktivitäten beeinflussen. Dies würde sogar einen direkten Eingriff in das wirtschaftliche Geschehen rechtfertigen. Bei strenger Trennung nach Ordnungs- und Prozesspolitik wäre die lokale Bereitstellung von öffentlichen Anpassungsgütern, da eine Form von Markteingriff, auch als prozesspolitische Tätigkeit zu interpretieren. Die Erhebung von Steuern, die für die Umsetzung nötig ist, ist zwar ein Globalsteuerungsinstrument für die gesamte Wirtschaft, aber dennoch auch ein klassisches Instrument der Prozesspolitik. Auch andere Globalsteuerungseingriffe, wie zum Beispiel die direkte Regulierung in Form von Standards und Normen oder die Vergabe von Lizenzen und Subventionen, stellen prozesspolitische Eingriffe dar, da sie in das Marktgeschehen eingreifen.

Wenn bei Versagen des Versicherungsmarktes, die gesetzliche Pflichtversicherung gegen die Folgen des Klimawandels als politisches Mittel gewählt wird, dann ist auch dies prozesspolitisch einzuordnen, da hier direkt in den Markt eingegriffen wird. Tritt der Staat selbst als Versicherer letzter Instanz auf, stellt dies sogar eine noch stärkere Form des Eingriffes dar.

Auch die Rationalisierung und das Monitoring staatlicher Klimaanpassung, welches wegen Eigeninteressen von Politikern und Bürokraten oder wegen Beeinflussbarkeit durch Interessengruppen sinnvoll sein könnte, wirkt sich lenkend auf das Marktgeschehen aus und fällt somit in den Bereich Prozesspolitik. Jedoch ist hier die Zuordnung schwieriger, da der politische Entscheidungsprozess keinen Markt im eigentlichen Sinne darstellt. Aber der Neuen Politischen Ökonomie folgend, kann man argumentieren, dass auch Politiker nach eigenen ökonomischen Interessen auf einer Art Markt für politische Entscheidungen handeln. Beim Rent-Seeking können Lobbygruppen zur Beeinflussung einer politischen Entscheidung zu ihren Gunsten zum Beispiel verschiedene Preise bieten. Weiter kann auch die Sicherung eines transparenten politischen Entscheidungsprozesses und der Abbau von Informationsasymmetrien als prozesspolitische Sicherung eines effizienten Wirtschaftens innerhalb des ordnungspolitischen Rahmens gesehen werden.

Preisregulierung im Sinne der Sicherung von Gerechtigkeit und Versorgungssicherheit ist ein klassisches Feld der Prozesspolitik, das einen entscheidungsrelevanten Faktor des Marktgeschehens beeinflusst.

¹ Kommt es jedoch erst durch Eingriffe des Staates in den Markt zu suboptimalen Ergebnissen oder schafft es der Staat nicht, zum Beispiel aufgrund von politökonomischen Barrieren, Marktversagen zu beseitigen, dann spricht man von Staatsversagen. Im ersteren Fall sollte dereguliert werden.

7.3. Strukturpolitische Einordnung

Neben der allgemeinen Unterscheidung nach Ordnungspolitik und Prozesspolitik, kann es im Zusammenhang mit Klimaanpassung sinnvoll sein, staatliches Handeln dem wirtschaftspolitischen Feld der Strukturpolitik zuzuordnen. Der Begriff Strukturpolitik bezeichnet einen Teilbereich von Ordnungspolitik und von Prozesspolitik, der sich mit Aspekten der regionalen und sektoralen Struktur auseinandersetzt. Die Auswirkungen des Klimawandels unterscheiden sich räumlich sehr stark und viele Anpassungsmaßnahmen sind dementsprechend lokal oder regional begrenzt. Zudem sind unterschiedliche Sektoren unterschiedlich stark vom Klimawandel betroffen oder können sogar von Maßnahmen als zusätzliche Auftragsquelle profitieren. Passenderweise bezieht sich die regionale Strukturpolitik auf die Raumdimension politischen Wirkens und die sektorale Strukturpolitik auf die einzelnen Branchen (Peters, 2000; Molitor, 2006; Klump, 2011). Weiter kann Strukturpolitik auch nach ordnungspolitischer und prozesspolitischer Wirkungsweise unterteilt werden.

Regionale Strukturpolitik kann entweder angleichungsorientiert oder wachstumsorientiert sein (Peters, 2000). Wachstumsorientierte Strukturpolitik geht davon aus, dass die regionale Wachstumsförderung das gesamtwirtschaftliche Wachstum maximiert und kann im Bezug auf Klimaanpassung vernachlässigt werden. Angleichungsorientierte Strukturpolitik zielt, unter Berücksichtigung der natürlichen Gegebenheiten, vor allem auf Beseitigung ökonomischer und infrastruktureller Ungleichheiten ab, wenn diese historisch zufällig bedingt sind. Da die Infrastruktur teils stark vom Klimawandel betroffen ist und die Auswirkungen des Klimawandels ungleich verteilt sind (siehe Kapitel 6.2), können entsprechende strukturpolitische Maßnahmen sinnvoll sein.² Dabei muss aber entschieden werden, ob eine Angleichung sinnvoll ist oder ob die Folgen des Klimawandels nicht als natürliche Gegebenheiten zu werten sind und somit Unterschiede in der Infrastruktur und Verteilung ökonomischer Belastung rechtfertigen.

Sektorale Strukturpolitik hingegen beschäftigt sich hauptsächlich mit Strukturwandel und Strukturflexibilität der unterschiedlichen Branchen. Beim Strukturwandel werden Investitionen, Ressourcen und Arbeitskräfte zwischen den Branchen verlagert, um auf veränderte Marktbedingungen zu reagieren.³ Aus ordnungspolitischer Sicht gilt es, vor allem Strukturrigiditäten und -hemmnisse zu beseitigen, die die marktwirtschaftliche Steuerung der Produktionsfaktoren im Strukturwandel behindern, und deregulierend zu wirken. Das Ziel ist eine reibungslose Anpassung der Unternehmen und Arbeitskräfte an strukturelle Änderungen. Prozesspolitisch kann unterschieden werden zwischen indikativer Strukturplanung und Strukturwandel-/Anpassungsförderung (Peters, 2000). Bei indikativer Strukturplanung sollen den Marktteilnehmern vor allem relevante Planungsinformationen zur Verfügung gestellt werden und richtungs-

² Flüsse oder Küstengewässer stellen zum Beispiel Transport- oder Verkehrswege dar. Selbes gilt auch für Stromnetze und Straßen, die bei starker langanhaltender Hitze belastet werden. Außerdem müssen Straßen in hitzegefährdeten Regionen besonders gebaut werden.

³ Peters (2000) gliedert Strukturwandelursachen nach exogenen (ordnungspolitische, strukturpolitische, regulierungsbedingte, naturbedingte, ideenbedingte) und endogenen (nachfragebedingte, angebotsbedingte, technologische) Ursachen.

weisend, aber nicht verbindlich, sektorale Ziele festgelegt werden. Darunter fallen auch Branchenprognosen und das Sichtbarmachen von Marktungleichgewichten. Konkrete Fördermaßnahmen wie Struktur- oder Anpassungshilfen greifen direkt in den Markt ein, können aber auch strukturwandelverzögernd oder gar erhaltend sein. Strukturpolitisch wäre somit sicherzustellen, dass der durch die klimatischen Veränderungen hervorgerufene sektorale Strukturwandel reibungslos vonstattengeht.⁴ So kann zum Beispiel die zunehmende Trockenheit in Sachsen die Landwirtschaft in Zukunft trotz Klimaanpassung unrentabel machen, sodass der Produktionsfaktor Arbeit optimalerweise in einem anderen Sektor verwendet werden sollte. Dem Staat würde dann die Rolle zukommen, den Arbeitswechsel in einen anderen Bereich möglichst einfach und verlustfrei zu gestalten. Dafür kann er, sowohl ordnungspolitisch entsprechende gesetzliche Bedingungen schaffen (z. B. im Arbeits-/Kündigungsrecht) als auch prozesspolitisch Informationen in Form von Branchenprognosen bereitstellen oder bei Marktversagen direkt eingreifen (z. B. über Umschulungsmaßnahmen).

Alle wirtschaftspolitischen Maßnahmen beeinflussen, direkt oder indirekt, das regionale oder sektorale Gefüge. Demnach kann ein ordnungspolitisches Ziel der Strukturpolitik sein, alle beabsichtigten Maßnahmen der Wirtschaftspolitik auf voraussichtliche strukturpolitische Auswirkungen zu überprüfen und schädliche Nebenwirkungen zu verhindern (Peters, 2000).⁵ So können sich staatliche Eingriffe in den Markt, wie die zuvor beschriebenen Steuern zur Anpassungsfinanzierung oder die Preisregulierung, sowohl regional als auch sektoral verzerrend auswirken. Zum Beispiel könnte der Staat unverhältnismäßig in den Deichbau investieren und damit die Investitionen weg von anderen Sektoren verzerren. Bei zentral geplanter staatlicher Klimaanpassung könnte es zudem zu Ungleichheiten bezüglich der Infrastruktur kommen. Zum Beispiel könnten Renaturalisierungen von Flussläufen Nachteile für die Schifffahrt bringen, die es strukturpolitisch auszugleichen gilt. Ein Ansatz dieses strukturpolitische Ziel anzugehen ist der besonders in der EU-Anpassungspolitik beliebte *Mainstreaming-Ansatz*. Dieser wird im nächsten Kapitel genauer erklärt.

7.4. Mainstreaming-Ansatz

7.4.1. Mainstreaming Definition

Mainstreaming bezeichnet die Einbindung von Zielen und Maßnahmen eines Strategiebereichs in die Planung und Umsetzung anderer Politikfelder. Das Konzept ist bereits über 20 Jahre alt und fand ursprünglich in der Gleichstellungspolitik der EU und UN (gender-mainstreaming) Anwendung. Auch das Mainstreaming von Klimaschutz in den Politikbereichen Energie und Transport (z. B. Energieeinsparung oder Vermeidung von CO_2 -Emissionen bei PKW) war in

⁴ In der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bundesregierung, 2008) sind die vom Klimawandel betroffenen Sektoren aufgeführt.

⁵ Weiter führt (Peters, 2000) auf, dass bei bereits umgesetzten Maßnahmen die Deregulierung, die eine effiziente Verteilung wiederherstellt, Teil der Strukturpolitik sein kann.

etwa so lange diskutiert worden und wurde schließlich im Jahre 1992 im Rahmen der Environmental Policy Integration (EPI) sogar in den Vertrag über die Europäische Union (EU-Vertrag) aufgenommen.⁶ Bei der Klimaanpassung hingegen erhielt das Konzept erst im Jahre 2002 auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung (World Summit on Sustainable Development, WSSD) in Johannesburg weitreichende Beachtung. Eine resultierende Definition von Klimaanpassungs-Mainstreaming nach Klein et al. (2005, S. 584) lautet: „*Mainstreaming involves the integration of policies and measures to address climate change into ongoing sectoral and development planning and decision-making, so as to ensure the long-term sustainability of investments as well as to reduce the sensitivity of development activities to both today's and tomorrow's climate.*“ Auf EU-Ebene wurde im Jahre 2009 bereits eine konkrete Umsetzung von Mainstreaming bei der Klimawandelanpassung vorgeschlagen (White Paper, EU-Kommission, 2009) und im Rahmen der aktuellen Klimaanpassungsstrategie der EU (EU-Kommission, 2013a) auch beschlossen.⁷

Der Begriff Climate-Mainstreaming wird auch oft als Climate Policy Integration (CPI) bezeichnet, um Politiker und Wissenschaftler auf die Lehren aus der viel längeren Geschichte des EPI hinzuweisen (Brouwer et al., 2013).⁸ Häufig wird auch der Begriff Climate-Proofing verwendet, meistens in Verbindung mit Investitionen und Maßnahmen, die nicht primär auf Klimaanpassung abzielen, aber die von der zukünftigen Klimaentwicklung abhängig sind.⁹

Beispiele für bereits umgesetzte Mainstreaming Projekte sind das von der Weltbank in der Karibik implementierte Mainstreaming Adaptation to Climate Change (MACC) und das Climate Change Adaptation Program for the Pacific (CLIMAP) von der Asian Development Bank (ADB).

7.4.2. Überschneidungen mit Zielen und Maßnahmen anderer Politikbereiche

Die Überschneidungen von Klimaanpassung mit anderen Politikbereichen sind zahlreich (siehe Zusammenfassung in Tabelle 7.1). Verschiedene Arbeiten haben bereits die Kohärenz diesbezüglich betrachtet, die sowohl Synergien als auch Konflikte mit anderen Politikfeldern oder politischen Zielsetzungen umfasst (Beck et al., 2009). Pittock (2011) zeigt Synergien und Kon-

⁶ Siehe Jordan & Lenschow (2010)

⁷ In der aktuellen Klimaanpassungsstrategie der EU (EU-Kommission, 2013a) wurde beschlossen, Mainstreaming in den Bereichen städtische Flächennutzungsplanung, Bauplanung und natürliches Ressourcenmanagement finanziell zu fördern. In den Bereichen Landwirtschaft, Fischerei, Infrastruktur und Katastrophen-Versicherung soll das Mainstreaming (climate proofing) für die einzelnen Staaten erleichtert werden. Weiter heißt es in der Strategie, dass das Mainstreaming bei der EU-Rechtslegung in den Sektoren Meeresgewässer, Forstwirtschaft, Meeres-Raumplanung, integriertes Küstenmanagement, Energie, Katastrophenschutz und -management, Transport, Forschung, Gesundheit und Umwelt bereits umgesetzt ist. Der Fokus weiterer Rechtslegungsänderungen liegt in Zukunft auf Energie und Transport.

⁸ Gupta & Van der Grijp (2010) hingegen definieren Mainstreaming enger als CPI.

⁹ Der Begriff wird aber auch synonym mit Mainstreaming verwendet. Die EU-Kommission (2013a, S. 8) schreibt zum Beispiel folgendes: „*One priority and responsibility for the Commission is to mainstream adaptation measures into EU policies and programmes, as the way to 'climate-proof' EU action.*“

Tabelle 7.1.: Überschneidungen der Anpassungspolitik mit anderen Politikbereichen

Politikfeld	Beispiel
Umweltpolitik	Synergie zwischen Wiederherstellung von Feuchtgebieten im Küstenhochwasserschutz und Förderung von Biodiversität
Sozialpolitik	Synergie zwischen Minderung der Vulnerabilität gegenüber Hitzestress (oft sozial bedingt) und Verbesserung der wirtschaftlichen und sozialen Situation insbesondere benachteiligter gesellschaftlicher Gruppen
Arbeitsmarktpolitik/ Konjunkturpolitik	Synergie zwischen staatlicher Auftragsvergabe für Bereitstellung von Anpassungsmaßnahmen und Vollbeschäftigungsziel oder Wachstumsziel
Fiskalpolitik	Konflikt zwischen Finanzierung von Förderprogrammen oder staatlichen Anpassungsmaßnahmen und Austerität
Wettbewerbspolitik	Synergie zwischen Regulierung natürlicher Monopole und Berücksichtigung externer Effekte der Klimaanpassung

flikte zwischen Klima-, Energie-, Wasser- und Umweltpolitik auf. Für die Klimaanpassungspolitik stellt er relevante Überschneidungen mit dem Frischwasser- und Ökosystemmanagement heraus. Huq et al. (2004) zeigen zudem Verbindungen zu Küstenressourcenmanagement, Agrarwirtschaft, Gesundheit und Biodiversität auf. Die im Küstenhochwasserschutz oft diskutierte Wiederherstellung von Feuchtgebieten hat zum Beispiel Synergien mit dem politischen Ziel der Biodiversität zur Folge. Weiter kann auch Hochwasserschutz intersektorale Auswirkungen auf die Landnutzungs- und Stadtplanung haben. Landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen hingegen haben vorwiegend Auswirkungen auf den Wassersektor.¹⁰ Smit & Wandel (2006) führen zudem den Bereich des Katastrophenschutzes und nachhaltige Entwicklungsprogramme auf, die beide sich mit der Klimaanpassung überschneidende Ziele haben.

Weiter können sich Ziele der Klimaanpassungspolitik auch intrasektoral mit denen anderer Politikbereiche überschneiden. Mickwitz et al. (2009) plädieren deshalb dafür, Ansatzpunkte für Mainstreaming auf allen Regierungsebenen einzuführen.

Brouwer et al. (2013) stellen verschiedene Hypothesen für den Erfolg von Mainstreaming zusammen. Zunächst entscheiden wahrgenommene Bedenklichkeit der Klimawandelauswirkungen und politischer Wille darüber, ob Mainstreaming betrieben wird. Außerdem sind die Kapazität für Regulierung (Hey, 2002), technisches Potential für Win-Win-Situationen in den Zielbereichen (Persson, 2004) und konkrete Anreize (Pollack & Hafner-Burton, 2010) erforderlich. Brouwer et al. (2013) stellen bei allen Anforderungen auf EU-Ebene Defizite fest.

¹⁰ Rund 70 Prozent des weltweit verfügbaren Frischwassers werden im Agrarsektor verbraucht (UNESCO, 2012, S. 46). Es wird erwartet, dass diese Verwendungsart bis 2050 um 19 Prozent zunimmt (UNESCO, 2012).

Mickwitz et al. (2009) stellen drei Kriterien zusammen, anhand derer das Ausmaß an Mainstreaming in einem Politikbereich eingeschätzt werden kann: Einbindung von Klimawandelauswirkungen und klimapolitischen Zielen in die Entscheidungen (inclusion), Konsistenz/Widersprüchlichkeit der Ziele der jeweiligen Politikbereiche (consistency) und Priorisierung/Gewichtung der unterschiedlichen politischen Ziele (weighting). Bei Erfüllung aller drei Kriterien in einem Politikbereich kann davon ausgegangen werden, dass Klimaanpassungs-Mainstreaming in diesem Bereich in vollem Ausmaß betrieben wird.

Auch mit denen in der deutschen Literatur etablierten Politikbereichen lassen sich Überschneidungen ausmachen. So könnten zum Beispiel im Bereich *Sozialpolitik* Anpassungsmaßnahmen bei der Stadtplanung die soziale Gerechtigkeit fördern, da vor allem sozial Benachteiligte von Hitzestress in Städten betroffen sind. Anpassungsmaßnahmen in bestimmten Sektoren könnten durch staatliche Auftragsvergabe eine besonders positive Wirkung auf das Vollbeschäftigungsziel der *Arbeitsmarktpolitik* haben. Wie bereits in Kapitel 6.1 erwähnt, muss die Bereitstellung von Anpassungsmaßnahmen mit öffentlichem-Gut-Charakter durch den Staat entsprechend finanziert werden und hat damit Auswirkungen auf den Haushalt und die *Fiskalpolitik*.¹¹ Somit kann es zum Beispiel zu einem Konflikt zwischen dem Effizienzziel der Anpassungspolitik und dem Austeritätsziel des Fiskalpolitik kommen. Aus strukturpolitischer Sichtweise tangieren Klimaanpassungsmaßnahmen sowohl die *Infrastrukturpolitik* als auch die *Konjunkturpolitik* (z. B. Förderung des Strukturwandels, siehe Kapitel 7.3). So kann es Synergien zwischen staatlicher Auftragsvergabe für Bereitstellung von Anpassungsmaßnahmen und dem Wachstumsziel geben. Schließlich sind regulierende Eingriffe des Staates bei natürlichen Monopolen (z. B. bei Stromnetzbetreibern) und Informationsbereitstellung gegen Moral Hazard oder Adverse Selektion (z. B. bei Versicherern), der *Wettbewerbspolitik* zuzuordnen (siehe Kapitel 6). Die Regulierung natürlicher Monopole erleichtert eine staatlich auferlegte Berücksichtigung externer Effekte der Klimaanpassung zum Beispiel bezüglich der Einleitung von Kühlwasser von thermischen Kraftwerken in Gewässer.

Dem Mainstreaming-Ansatz nach müssten die Ziele der Klimaanpassungspolitik in die Umsetzung anderer Politikfelder mit einbegriffen werden. Das entscheidende Argument gegen das Mainstreaming ist die mangelnde Koordination der einzelnen Politikbereiche. Die Synergien und Konflikte der Klimaanpassungspolitik mit anderen Politikbereichen sind zahlreich und sehr unterschiedlich. Bei einer in diesem Sinne komplett dezentralen Klimaanpassungspolitik ist es vermutlich schwierig und vielleicht sogar unmöglich, alle Synergien und Konflikte der einzelnen Aktivitäten der Mainstreaming-Klimaanpassung auf einander abzustimmen.

¹¹ Dies gilt insbesondere, da die Finanzierung und Umsetzung der Maßnahmen auf verschiedenen Regierungsebenen (Bund, Land, Kommune) angesiedelt sein kann.

8. Akteure, Ziele und Instrumente der Klimaanpassungspolitik

8.1. Akteure

Füssel (2007) teilt die relevanten Akteure der Klimaanpassung grob in vier Gruppen ein. Wissenschaftler liefern Wissen für politische Konzepte und Praktiken. Praktiker, wie zum Beispiel Manager natürlicher Ressourcen, implementieren die Anpassungsmaßnahmen und liefern Informationen über die Umsetzbarkeit. Politische Entscheidungsträger und Stakeholder legen die politischen Prioritäten und Kriterien für Anpassung fest. Politische und ökonomische Analysten führen gemäß der festgelegten Kriterien die Priorisierung von Anpassungsoptionen durch.

Vor allem die Gruppe der politischen Entscheidungsträger und Stakeholder gilt es für die Anpassungspolitik genauer aufzuschlüsseln. Die politischen Entscheidungsträger sind auf internationaler Ebene (z. B. EU), nationaler Ebene (z. B. Bundesumweltministerium, Bundestag), regionaler Ebene (z. B. Landesministerien, Landtag) und kommunaler Ebene angesiedelt. Die politischen Zuständigkeiten werden für Deutschland in Kapitel 10 genauer untersucht. Des Weiteren spielt die ausführende Verwaltung, die am ehesten in die von Füssel (2007) aufgeführte Praktiker-Kategorie passt, bei der Planung und Umsetzung eine entscheidende Rolle. Vor allem in Deutschland ist oft eine Vielzahl von Behörden mit verschiedenen räumlichen und thematischen Zuständigkeitsbereichen für Umsetzung der staatlichen Anpassungstätigkeiten verantwortlich.¹ Diese Zweiteilung der staatlichen Klimaanpassung in einerseits politische und andererseits administrative Zuständigkeit spiegelt sich in der Typologie staatlicher Anpassungsentscheidungen nach Entscheidungsfeldern wieder, die in Kapitel 15.2 aufgestellt wird. Weiter unterteilen Gawel et al. (2012) die Stakeholder nach verschiedenen Interessengruppen, die von Klimawandelanpassung betroffen sind. Neben einzelnen unorganisierten Wählern (privaten Haushalten), zählen auch Anbieter von Anpassungsinfrastruktur (Unternehmen) zu den Stakeholdern. Schließlich zählen auch Nichtregierungsorganisationen (NGOs), sowohl aus dem Umweltbereich als auch aus anderen Bereichen, zu den Akteuren der Klimaanpassungspolitik.

¹ Dies lässt sich gut am Beispiel der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Water Framework Directive, WFD) zeigen. Folgende Behörden sind an der Umsetzung dieser beteiligt (Dehnhardt, 2012): oberste Abteilungen der Landesministerien, Bezirksregierungen und Regierungspräsidien; obere Wasserbehörden; regionale Wasserwirtschaftsämter; sondergesetzliche Wasserverbände; wasserwirtschaftliche Abteilung des Bundesumweltministeriums; Fachbehörden des Bundes: Umweltbundesamt, Bundesamt für Naturschutz, Bundesanstalt für Gewässerkunde; Fachbehörden der Länder (unterste Instanz); Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

8.2. Ziele

Aus den ökonomisch-theoretischen Legitimationen staatlicher Eingriffe in Kapitel 6 lassen sich folgende Ziele für die Klimaanpassungspolitik ableiten:

- Bereitstellung regulatorischer und institutioneller Rahmenbedingungen
- Zielerreichung beim Anpassungsniveau (Effektivität)²
- Effizienz
- Verteilungsgerechtigkeit
- Versorgungssicherheit

Die Klimaanpassungspolitik müsste diesem Zielsystem nach eine ökonomisch effiziente, effektive und gerechte Anpassung anstreben, die in Anbetracht der Klimawandelrisiken gleichzeitig Versorgungssicherheit gewährleistet. Das Effizienzziel bezieht sich dabei sowohl auf private Anpassung, im Sinne des Verhinderns von Marktversagen, als auch auf staatliche Anpassung, im Sinne des Verhinderns von Staatsversagen. Dabei gilt es die verschiedenen in Kapitel 6.1 aufgeführten Barrieren effizienter Anpassung zu beseitigen: “Freifahrer”-Effekte bei öffentlichen Gütern, negative externe Effekte, Moral Hazard und adverse Selektion in Versicherungsmärkten, Verhaltensbarrieren, regulatorische, institutionelle und politökonomische Barrieren. Das Verteilungsgerechtigkeitsziel betrifft sowohl die distributive Wirkung des Klimawandels als auch die distributive Wirkung von Klimaanpassung selbst.

Während in der Arbeitsmarktpolitik das Vollbeschäftigungsziel mit der Arbeitslosenquote, in der Sozialpolitik das Verteilungsgerechtigkeitsziel mit dem Gini-Koeffizienten und in der Klimaschutzpolitik das 2°C-Ziel der EU mit Emissionen gemessen werden kann, fehlt es der Klimaanpassungspolitik einer einheitlichen Bemessungsgrundlage, die den Grad der Zielerreichung widerspiegeln könnte. Die durch den Klimawandel verursachten Schäden wären zwar ein Spätindikator, erweisen sich jedoch als unzulänglich. Erstens sind die Klimaauswirkungen schwer umfassend zu bewerten und eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen. Zweitens würde die reine Betrachtung der Kostenseite, der ökonomischen Effizienzanforderung nicht genügen. Es bleibt somit festzuhalten, dass der Mangel eines einheitlichen Messkriteriums der Zielerfüllung bezüglich optimaler Anpassung eine besondere Schwierigkeit der Klimaanpassungspolitik darstellt.

Wie in Kapitel 7 bereits erklärt, ist die Herangehensweise der Wirtschaftspolitik zur Lösung dieser Schwierigkeit, *ordnungspolitisch* einen Rahmen für eine optimale private Klimawandelanpassung zu setzen, und dort *prozesspolitisch* einzugreifen, wo Marktversagen bestehen

² Ökonomisch gesehen setzt Effizienz Effektivität voraus, schließt sie somit mit ein und macht es eigentlich als explizites Ziel der Anpassungspolitik überflüssig. Aufgrund der Wichtigkeit dieses Zieles kann es jedoch als eigenständiges Ziel hervorgehoben werden. So führen Cimato & Mullan (2010) führen neben Effizienz und Gleichheit auch Effektivität als Kriterium zur Beurteilung jeglichen staatlichen Handelns auf.

Abbildung 8.1.: Ziele und Instrumente der Anpassungspolitik



oder andere politische Zielvorstellungen wie Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit nicht erreicht werden. Die üblichen wirtschaftspolitischen Instrumente werden im folgenden Kapitel auf die Anwendung im Bereich der Klimaanpassungspolitik übertragen.

8.3. Instrumente

Die Instrumente der staatlichen Klimaanpassungspolitik lassen sich ebenso aus den Legitimationen staatlicher Eingriffe in Kapitel 6 und der wirtschaftspolitischen Einordnung von Klimaanpassung in Kapitel 7 ableiten und können am besten nach den zuvor in Kapitel 8.2 hergeleiteten Zielen kategorisiert werden (siehe Abbildung 8.1).³

Für die *Bereitstellung regulatorischer und institutioneller Rahmenbedingungen* sind die grundlegenden ordnungspolitischen Instrumente zu nennen:

- Eigentums, Vertrags- und Haftungsrechte
- Autoritäts- und Zwangsrechte
- Einrichtung und Koordination von Institutionen

Eigentumsrechte müssen klar definiert sein, damit Anreize bestehen, Güter vor dem Klimawandel zu schützen und Klimaanpassung zu betreiben (z. B. Hausrat, Grundstück, Firmeneigentum). Zudem spielen Eigentumsrechte bei der Nutzung von Gütern für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen eine Rolle (z. B. Eigentumsrecht für Wasser für Bewässerung in der Landwirtschaft oder Maschinen für den Deichbau). Vertrags- und Haftungsrechte sind nötig für die wirtschaftliche Interaktion im Rahmen der Klimaanpassung (z. B. Auftrag an eine Firma

³ Cimato & Mullan (2010) unterteilen die Instrumente staatlicher Klimapolitik in vier Bereiche: regulierende Maßnahmen, Forschung und Monitoring, Informationsbereitstellung und Infrastrukturinvestitionen.

zur Installation eines „grünen Dachs“), aber auch für die Haftung für aus der Anpassung resultierende Schäden. Autoritäts- und Zwangsrechte geben dem Staat die Möglichkeit zum prozesspolitischen Eingriff in das Marktgeschehen.⁴ So reguliert zum Beispiel das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) umweltrelevante Vorhaben privater Akteure. Zur Ausgestaltung, Umsetzung und Sicherung dieser Rahmenbedingungen bedarf es schließlich noch der Einrichtung oder Einbindung von gesetzgebenden, administrativen und rechtsprechenden Institutionen. Zudem besteht vor allem in einem föderalistisch strukturierten Staat Koordinationsbedarf zwischen den Ressorts der Bundesregierung, den Ländervertretungen auf Bundesebene, den Länderregierungen selbst und den Kommunen im Rahmen ihrer Selbstverwaltung (Molitor, 2006, S. 292). So müsste zum Beispiel die lokale Anpassung bei externen Effekten zentral koordiniert werden (siehe Kapitel 6.1). Die üblichen Lösungen sind Koordinationsausschüsse, interministerielle Arbeitsgemeinschaften und Lenkungsgruppen (Molitor, 2006).

Instrumente, die direkt auf die Erreichung von *Verteilungsgerechtigkeit* abzielen, sind:

- Transferzahlungen aus Steuern
- Katastrophenhilfe
- Subventionen

Transferzahlungen können, aus Steuern finanziert, an besonders betroffene Bevölkerungsgruppen zum Ausgleich von Klimaauswirkungen erfolgen. Katastrophenhilfe in Form von materieller Unterstützung und Katastrophenschutz oder Auszahlungen aus entsprechenden Fonds (z. B. Fluthilfefonds) haben dieselbe redistributive Wirkung. Schließlich können auch private Anpassungsmaßnahmen aus Gerechtigkeitsgründen subventioniert werden, wenn diese sonst gar nicht oder nicht in genügendem Ausmaße autonom umsetzbar wären (z. B. staatliche Subventionierung beim Klimaanlagenkauf für einkommensschwache Haushalte oder ältere Menschen). Außerdem sind andere staatliche Maßnahmen denkbar, die eine indirekte redistributive Wirkung haben. So verteilt zum Beispiel eine staatliche Pflichtversicherung mit fixen Prämien von Versicherten mit geringem Schadensrisiko zu Versicherten mit hohem Schadensrisiko um.

Zur direkten Gewährleistung von *Versorgungssicherheit* bleibt letztendlich nur das Instrument der Regulierung der essentiellen Güter oder Sektoren (Energie, Wasser, Nahrung). Die Bundesnetzagentur (BNetzA) zum Beispiel kümmert sich bereits um Versorgungssicherheit im Bereich Strom und kann dabei die zukünftigen Risiken im Bezug auf den Klimawandel miteinbeziehen.

Für die Erreichung von *Effizienz* bei der Klimaanpassung stehen dem Staat folgende Instrumente zur Verfügung:

- Direkte Regulierung

⁴ Bei zu restriktiver oder konkurrierender Regulierung aus anderen Bereichen, die effiziente autonome Anpassung behindert, muss allerdings gegebenenfalls dereguliert werden. Siehe Kapitel 6.1.4.

- Marktbasierte Instrumente
- Staatliche Bereitstellung von Anpassungsmaßnahmen
- Rationalisierung und Monitoring

Direkte Regulierung nimmt über Verbote, Auflagen, Standards oder Normen direkten Einfluss auf das Anpassungshandeln von Individuen und Unternehmen. Zum Beispiel kann der Staat, die Rasenbewässerung in Trockenperioden verbieten, um Wasserknappheit zu vermeiden. Ein weiteres Beispiel sind den Klimawandel berücksichtigende Normen zur Anlagensicherheit oder klimagerechte Baustandards.

Weiter stehen dem Staat auch marktbasierte Instrumente wie Steuern oder Gebühren, Steuervergünstigungen, handelbare Lizenzen oder Subventionen zur Verfügung. Der Staat kann theoretisch negative Externalitäten von Klimaanpassung über Pigou-Steuern internalisieren.⁵ Ein Beispiel für eine Gebühr ist das in verschiedenen Bundesländern bei Brunnenbesitzern erhobene Grundwasserentnahmegeld. Sollte es klimawandelbedingt zu Wasserknappheit kommen, kann theoretisch mittels dieses Entgelts über den Preismechanismus die Entnahme auf eine optimale Menge reguliert werden. Steuervergünstigungen mit dem selben Effekt sind beispielsweise die Ermäßigungen beim Niederschlagswasserentgelt für begrünte Dachflächen in manchen Kommunen. Diese steigern die Attraktivität dieser Anpassungsmaßnahme mit positiven externen Effekten für die städtische Umgebung bei Hitze. Auch bei handelbaren Lizenzen können die externen Effekte theoretisch vollständig internalisiert und zwischen Verursachern und Geschädigten gehandelt werden.⁶ So können zum Beispiel in Australien große Wasserverbraucher aus Landwirtschaft und Industrie ihre vom Staat zugeteilten Lizenzen im Australian National Water Market untereinander handeln. Somit kann die Gesamtverbrauchsmenge beschränkt werden und besonders von Wasserknappheit betroffene Akteure können sich mit zusätzlichen Lizenzen eindecken. Denkbar wären handelbare Lizenzen auch für die durch Deichbau flussabwärts „abgeschobene“ Hochwassermenge. Die „Verursacher“ flussaufwärts und die „Geschädigten“ flussabwärts könnten diese Lizenzen handeln und somit wäre der negative externe Effekt internalisiert.

Weiter ist auch die eigenständige Bereitstellung oder Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen ein Instrument, das dem Staat bei Marktversagen zur Verfügung steht. So kann zum Beispiel durch staatliche Investitionen die Wetterbeständigkeit von Straßen- und Bahnnetzen erhöht werden, in die sonst privat nicht investiert würde. Auch Deiche und andere Hochwasserschutzmaßnahmen fallen wegen ihres öffentlichen-Gut-Charakters in diesen Bereich. Informationen und Forschung, die öffentliche Güter darstellen, also nicht rivalisierend und ausschließbar sind,

⁵ Hier müsste jedoch das Ausmaß dieser Externalitäten dem Staat bekannt sein und selbst dann verzerren Steuern die Marktpreise und führen zu einem gesamtwirtschaftlich suboptimalen Ergebnis.

⁶ Im Bereich von Klimaschutz findet dieses Instrument bereits in Form des europäischen Emissionshandels (ETS) Anwendung. Hier ist die Anwendung möglich, da die erwarteten Klimaschäden physikalisch an die ausgestoßene Menge CO_2 gebunden sind. Durch die künstliche Verknappung der Emissionen, können diese zwischen Verursachern und Geschädigten zu einem positiven Preis gehandelt werden.

und in welche autonom unterinvestiert wird, müssen ebenso vom Staat bereitgestellt werden. Ein Beispiel für staatlich finanzierte Forschung ist die Klimamodellierung. Zudem kann Informationsbereitstellung und die Förderung von besserer Informationsverbreitung sinnvoll sein, um die Folgen von asymmetrischer Information wie z. B. Moral Hazard/Adverse Selektion im Versicherungsbereich abzuschwächen und um ein effizientes Funktionieren des Versicherungsmarktes zu gewährleisten.⁷ Dabei können Informationen sowohl den Versicherten (z. B. Wahrscheinlichkeiten über das Eintreten von zukünftigen Klimaschäden) als auch den Versicherern (z. B. Register mit Bebauungsinformationen) bereitgestellt werden.

Schließlich kann zur Beseitigung von Ineffizienzen aufgrund von politökonomischen Barrieren oder Staatsversagen eine Rationalisierung des politischen Entscheidungsprozesses vorgenommen werden. Gemeint ist damit vor allem die Einführung von Entscheidungsregeln oder strukturierten Entscheidungsmethoden (z. B. Kosten-Nutzen-Analyse, Multikriterielle Analyse etc.), die den Einfluss von Eigeninteressen minimieren. Auch ein entsprechendes Monitoring ist zur Beseitigung dieser Barrieren nötig und kann mit diesen Methoden vorgenommen werden. Dieses Instrument ist auf einer Meta-Ebene angesiedelt, es betrifft die Auswahl der anderen Instrumente und zielt auf die Entscheidungsfindung der Anpassungspolitik ab, womit ihm eine übergeordnete Stellung zukommt. Teil IV dieser Arbeit untersucht dieses Instrument genauer .

⁷ Im Gegensatz dazu können Verhaltensbarrieren mit Informationsbereitstellung allein jedoch oft nicht behoben werden (Osberghaus et al., 2010b).

9. Zwischenfazit

Ausgehend von der in diesem Teil der Arbeit aufgestellten ökonomisch-theoretischen Legitimation der Staatseingriffe und der wirtschaftspolitischen Einordnung der Klimaanpassung wurden vier grundsätzliche Ziele für die Klimaanpassungspolitik abgeleitet: Bereitstellung regulatorischer und institutioneller Rahmenbedingungen, Effizienz, Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit. Klimaanpassungspolitik soll in Anlehnung an die Theorie der Wirtschaftspolitik ordnungspolitisch den Rahmen für eine effiziente autonome Anpassung bereitstellen und prozesspolitisch dort eingreifen, wo es zu Ineffizienzen kommt oder wo andere politische Ziele wie Versorgungssicherheit oder Verteilungsgerechtigkeit durch die Auswirkungen des Klimawandels bedroht sind. Nach diesen Zielen lassen sich auch die staatlichen Eingriffe im Bereich der regionalen Strukturpolitik, bezüglich der räumlich divergierenden Auswirkungen des Klimawandels, und der sektoralen Strukturpolitik, bezüglich des mit dem Klimawandel verbundenen Strukturwandels, ausrichten.

Zur Erreichung der anpassungspolitischen Ziele gibt es eine Reihe von Instrumenten. Zur Bereitstellung der ordnungspolitischen Rahmenbedingungen sind Eigentums-, Vertrags-, Haftungs-, Autoritäts-, Zwangsrechte und die Einrichtung entsprechender Institutionen zu nennen. Zur Sicherung einer effizienten Anpassung stehen dem Staat neben direkter Regulierung (Verbote, Gebote, Auflagen), marktbasierende Instrumente (Steuern, Gebühren, Lizenzen) und die staatliche Bereitstellung öffentlicher Anpassungsgüter zur Verfügung. Zur Erreichung von Verteilungsgerechtigkeit können Maßnahmen mit redistributiver Wirkung wie Transferzahlungen, Katastrophenhilfe oder Subventionen verwendet werden. Versorgungssicherheit hingegen bedarf der Regulierung der Märkte für essentielle Güter wie Energie, Wasser und Nahrung. Um insgesamt eine effiziente Klimaanpassungspolitik zu gewährleisten, kann der politische Entscheidungsprozess mittels strukturierter Entscheidungsmethoden rationalisiert werden und die Durchführung mittels eines entsprechenden Monitorings überwacht werden.

Eine grundsätzliche Frage ist, ob Klimaanpassung überhaupt ein eigenes Politikfeld darstellt oder ob die Ziele und Instrumente im Sinne von Mainstreaming nicht vollständig anderen Politikbereichen zugeordnet werden sollten. Wie in Kapitel 7.4.2 besprochen, sind die Synergien und Konflikte der Klimaanpassungspolitik mit anderen Politikbereichen zahlreich und sehr unterschiedlich (z. B. Energie-, Umwelt-, Agrarpolitik usw.). Dennoch kommen zum Beispiel Massey & Huitema (2013a) zu dem Schluss, dass Klimaanpassung in England tatsächlich ein eigenes Politikfeld darstellt, da dort substantielle Autorität, institutionelle Ordnung und substantielle Expertise in diesem Bereich besteht. Obwohl in Deutschland im Vergleich zu England die

substantielle Autorität, in Form von umfassender Gesetzgebung oder Regulierung, und institutionelle Ordnung bezüglich der Klimaanpassung sicherlich weniger gegeben ist, wurde doch seit 2008 die substantielle Expertise im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) merklich ausgebaut.¹ Diese Entwicklung wird in der deskriptiven Analyse im nächsten Teil genauer betrachtet. Zudem wird basierend auf der in diesem Teil aufgestellten theoretischen Fundierung untersucht, ob die normativen Anforderungen durch die deutsche Anpassungspolitik erfüllt werden, und welche Verbesserungen möglich sind.

¹ Dies bezieht sich vor allem auf die Expertise des für die Anpassungsstrategie verantwortlichen Bundesumweltministeriums (BMU) und des Umweltbundesamtes (UBA), mit entsprechenden Publikationen und delegierter Forschung. Auch die eingerichteten interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassungsstrategie“, der ständige Ausschuss der Umweltministerkonferenz (UMK) der Länder als Teil der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft KliNa (Klima, Energie, Mobilität und Nachhaltigkeit), das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (Kompass) und das Netzwerk Vulnerabilität zeugen von Expertise.

Teil III.

Positive Analyse der Klimaanpassungspolitik in Deutschland

Mit Veröffentlichung der Europäischen Anpassungsstrategie (EU-Kommission, 2013a) verfolgte die Europäische Kommission mitunter das Ziel, die nationale Anpassung an den Klimawandel in den Mitgliedsländern zu fördern. In Deutschland wurden bereits zuvor verschiedene politische Prozesse in dieser Richtung angestoßen. Im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS, Bundesregierung, 2008) und des Aktionsplans Anpassung (APA, Bundesregierung, 2011) wurde der Grundstein für die Klimaanpassungspolitik auf nationaler Ebene gelegt. Bundesland-spezifische Anpassungsstrategien und Aktionspläne wurden daraufhin von der Mehrzahl der Länder vorgelegt. Auch einige Kommunen (z. B. die Städte Nürnberg, Duisburg, Jena) haben inzwischen eigene Anpassungsstrategien erarbeitet. Während also Klimaanpassung bereits politisch quer über alle Ebenen hinweg durch Strategieansätze und Aktionspläne konkretisiert wird, stellt sie wissenschaftlich dennoch ein noch relativ junges Forschungsfeld dar. Es bleibt somit zu untersuchen, inwiefern die bereits vorgenommenen politischen Schritte zu einer ökonomisch sinnvollen Ausgestaltung einer optimalen Klimaanpassung beitragen und wie der politische Prozess bei der Umsetzung dieser anspruchsvollen und komplexen Aufgabe unterstützt werden kann.

Ziel dieses Teiles der Arbeit ist es, Defizite der gegenwärtigen Politikansätze zur Klimaanpassung in Deutschland aus ökonomischer Perspektive zu identifizieren und entsprechende Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Nachdem in Kapitel 10 zunächst die bisherige Klimaanpassungspolitik in Deutschland nach politischen Ebenen umrissen wird, werden in Kapitel 11 die Defizite bisheriger Ansätze identifiziert und mögliche Verbesserungsvorschläge entwickelt.

10. Akteure, Strategien und Maßnahmen der Klimaanpassungspolitik nach politischen Ebenen

Die deutsche Klimaanpassungspolitik wird auf verschiedenen politischen Ebenen durch teils abgestimmte, teils unabhängige Politikansätze bestimmt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die für Deutschland relevanten politischen Akteure, die beschlossenen oder geplanten Strategien und die politischen Maßnahmen dargestellt.

10.1. Europäische Union

Im Jahre 2009 gab die Kommission der Europäischen Union das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ (EU-Kommission, 2009) heraus, welches erste strategische Ansätze zur Klimaanpassung auf EU-Ebene beinhaltet. Insbesondere wurden darin erste Ansätze zum Mainstreaming und Climate-Proofing¹ von Klimaanpassung in bereits bestehende Politikfelder der EU (Gesundheits-/Sozialpolitik, Land-/Forstwirtschaft, Natur/Gewässerschutz, Küsten-/Meeresschutz, Produktions-/Infrastruktur) vorgestellt. Zudem wurde die Integration von Klimaanpassung in die Finanzierungsprogramme der EU vorgeschlagen.² Zu diesem Zeitpunkt waren außerdem Vorschläge für Investitionen zur Bewältigung von Klimafolgen (z. B. Modernisierung der Infrastruktur oder Förderung der Energieeffizienz von Gebäuden) bereits Teil des EU-Konjunkturprogrammes (EU-Kommission, 2008). Weiterhin sollte das Angebot von Versicherungen gegen Klimafolgen (z. B. für Gebäude in Hochwassergebieten) überprüft werden, da ansonsten staatliche Versicherungen zur Auflage zu machen wären.³

¹ Mainstreaming bezeichnet die Einbindung von Zielen und Maßnahmen eines Strategiebereichs in die Planung und Umsetzung anderer Politikfelder und fand als zunächst in der Gleichstellungspolitik der EU und UN (gender-mainstreaming) Anwendung (Pollack & Hafner-Burton, 2010). Inzwischen wurde dieses Konzept auch auf Bereiche der Klimapolitik (Adaptation und Mitigation) übertragen (Kok & De Coninck, 2007; Brouwer et al., 2013). Auch der Begriff Climate-Proofing, welcher eine vergleichbare Bedeutung hat, hat sich im Rahmen der EU etabliert (siehe Altvater et al., 2012).

² Es wurde unter anderem die Finanzierung der nationalen Klimaanpassung aus Einkünften der EU-ETS-Auktionen der Mitgliedsländer vorgeschlagen.

³ Aufgrund der grenzüberschreitenden Wirkung des Klimawandels sprach sich die EU-Kommission in diesem Falle für eine EU-weite Regelung aus (EU-Kommission, 2009).

Im Anschluss wurde im Jahre 2010 die Generaldirektion Klimapolitik (Directorate-General for Climate Action, DG CLIMA) der Europäischen Kommission gegründet, die sich neben Klimaschutzfragen (z. B. Führung der Verhandlungen zum Klimaschutz und EU-ETS) auch mit Klimaanpassung beschäftigt. Weiter wurde im Jahre 2012 unter Zusammenarbeit von EU-Kommission, Europäischer Umweltagentur (EEA) und einzelner Mitgliedstaaten, ein EU-weites Internetportal zum Thema Anpassung (Climate-ADAPT) erstellt.⁴ Der Zweck dieses Portals ist der Informationsaustausch zwischen Forschung, Politik und Behörden bezüglich Klimafolgen und Klimaanpassung (z. B. Anpassungsprojekte, Publikationen, Akteure, Fallstudien, Indikatoren, Daten) .

Im April 2013 legte DG-CLIMA ein Strategiepaket zur Klimaanpassung vor (EU-Kommission, 2013a). Kern dieses Paketes ist die „EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“. Erstens definiert diese Strategie das Ziel, die Erstellung nationaler Anpassungsstrategien zu fördern. Dies wird unterstützt mit Leitfäden, technischer Kapazität und Finanzierungsmöglichkeiten (aus dem Umweltfinanzierungsinstrument LIFE). Bis 2014 will die Kommission einen indikatorenbasierten Anzeiger entwickeln, um die Bereitschaft der Staaten zu messen und bei unzureichender Umsetzung im Jahre 2017 rechtsverbindliche Instrumente in Betracht zu ziehen. Zweitens gibt die EU-Kommission explizite Anweisungen für Mainstreaming von Klimaanpassung für folgende EU-Politik-Sektoren: Kohäsion, Agrar, Migration, Küsten- und Meeresschutz, Gesundheit, Infrastruktur und Versicherung.^{5,6} Drittens will die EU-Kommission helfen, Wissenslücken bei Klimaanpassungsentscheidungen zu schließen und die Klimaanpassungsforschung in ihrem Forschungsprogramm Horizon 2020 sowie die Verbreitung der Ergebnisse über Climate-ADAPT zu fördern.

Zur Finanzierung können, neben dem Forschungsprogramm Horizon 2020 und dem Umweltmaßnahmenprogramm LIFE, Mittel aus den Europäischen Struktur- und Investitionsfonds⁷ verwendet werden. Mindestens 20 Prozent des EU-Budgets (Mehrjähriger Finanzrahmen 2014-2020, MFR) sollen insgesamt für Klimaschutz und Klimaanpassung zur Verfügung gestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Klimaanpassungspolitik auf EU-Ebene wenig mit der direkten Umsetzung beschäftigt. Vielmehr wird eine finanzielle und wissensbasierte Förderung der nationalen Anpassung betrieben. Mittels Mainstreaming und Climate-Proofing

⁴ Die Plattform ist gegliedert nach EU-Sektor-Politikbereichen: Kohäsion, Agrarkultur und Forstwirtschaft, Biodiversität, Küsten- und Meeresschutz, Katastrophenschutz, Finanzen, Fischerei, Gesundheit und Wassermanagement.

⁵ Besonders hervorgehoben ist dabei die Vereinfachung des Mainstreaming in Bezug auf die Gemeinsame Kohäsions-, Agrar- (GAP) und Fischereipolitik (GFP).

⁶ Für den Sektor Versicherung wurde in Zusammenarbeit mit der Generaldirektion Binnenmarkt und Dienstleistungen (GD MARKT) zusätzlich zu dem Strategiepaket das Grünbuch zu „Versicherungen gegen Naturkatastrophen und von Menschen verursachte Katastrophen“ veröffentlicht (EU-Kommission, 2013b). Dieses sieht einen öffentlichen Konsultationsprozess vor, um zu überprüfen, ob ausreichend Versicherungen zur Absicherung gegen den Klimawandel angeboten werden.

⁷ Cohesion Fund, European Regional Development Fund (ERDF), European Social Fund (ESF), European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD), European Maritime and Fisheries Fund (EMFF).

sollen dabei die potenziellen Auswirkungen in anderen EU-Politikfeldern berücksichtigt werden. Auch dort beschränken sich die Tätigkeiten der EU zumeist auf das Setzen von Rahmenbedingungen mittels Richtlinien und Verordnungen.

10.2. Deutschland

10.2.1. Bundesebene

Die deutsche Klimaanpassungspolitik auf Bundesebene hat sich bisher vorwiegend in der deutschen Anpassungsstrategie (Bundesregierung, 2008) und den daraus hervorgehenden Aktionsplan Anpassung (Bundesregierung, 2011, 2015) manifestiert. Im Folgenden werden kurz die an der Entstehung beteiligten Akteure und die damit verbundenen Instrumente und Maßnahmen umrissen. Außerdem wird das bislang umgesetzte und weiter geplante Vorgehen im Rahmen des Fortschrittsberichts zur deutschen Anpassungsstrategie beschrieben.

10.2.1.1. Deutsche Anpassungsstrategie (DAS)

Aus dem Nationalen Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ging im Jahre 2006 das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) am Umweltbundesamt hervor, welches die Erstellung einer Anpassungsstrategie für Deutschland unterstützen sollte. Unter Leitung des Bundesumweltministeriums (BMU) wurde im Jahre 2008 die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) veröffentlicht. In dieser wurden zunächst lediglich die für Deutschland relevanten Auswirkungen des Klimawandels nach Sektoren aufgezeigt und eine konkretere Ausgestaltung im Rahmen eines Aktionsplanes in Zusammenarbeit mit den Ländern beschlossen. Im Aktionsplan sollten dann Kriterien für die Identifizierung und Priorisierung von Handlungserfordernissen, die Priorisierung von Maßnahmen des Bundes, ein Überblick über konkrete Maßnahmen anderer Akteure (auf Grundlage des Dialog- und Beteiligungsprozesses), Aussagen zur Finanzierung und Vorschläge für eine Erfolgskontrolle (Indikatoren) erarbeitet werden (Bundesregierung, 2008).

10.2.1.2. Aktionsplan Anpassung (APA)

Der bei der Erstellung der DAS entstandene Arbeitskreis wurde formell, unter Federführung des Bundesumweltministeriums, zu der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassungsstrategie“ ernannt. Zusätzlich wurde 2009 von der Umweltministerkonferenz (UMK) der Ständige Ausschuss zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (StA AFK)⁸ als Teil der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität und Nachhaltigkeit (BLAG KliNA) eingeführt. Die IMA Anpassungsstrategie und der StA AFK haben gemeinsam in Abstimmung mit Bund

⁸ Unter dem gemeinsamen Vorsitz von Sachsen, Nordrhein-Westfalen und dem Bundesumweltministerium

und Ländern im Jahre 2011 den “Aktionsplan Anpassung” (APA) veröffentlicht. Dabei wurden Kommunen, Wissenschaft und verschiedene gesellschaftliche Gruppen in den Dialog- und Beteiligungsprozess eingebunden.

Der APA ist untergliedert in vier Säulen: Wissensbereitstellung, Rahmensetzung, Aktivitäten in direkter Bundesverantwortung und internationale Verantwortung.

Die erste Säule beinhaltet vorwiegend die Finanzierung von Forschungsvorhaben im Bereich Klimaprognose, Vulnerabilität und Anpassung. Außerdem werden Stakeholder-Dialoge und Beteiligungsprozesse bei der Ausarbeitung von Anpassungsstrategien und Pilotprojekte in Regionen und Gemeinden gefördert (z. B. KLIMZUG, Klima MORO, ExWoSt).

In der zweiten Säule beschreibt der Aktionsplan vorwiegend die rechtliche Rahmensetzung auf Bundesebene. Beispiele sind die Aufnahme von Anpassung an den Klimawandel als Grundsatz in das Raumordnungsgesetz im Jahre 2008 und in das Wasserhaushaltsgesetz im Jahr 2010. Das APA beinhaltet zudem die Einbindung in das Recht der Fachplanung. Bei Umweltplanung und Regionalplanung soll Klimafolgenverträglichkeit in die bestehenden Instrumente der Strategischen Umweltprüfung (SUP) und der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) eingebunden werden. Zudem sollen Auswirkungen des Klimawandels zukünftig auch bei der rechtlichen Regelung von Finanzdienstleistungen (Risikobewertung), Bauplanung und beim Energiesparrecht Beachtung finden. Weiter ist geplant, Klimaanpassung in Klimadatennormen und Normen zur Anlagensicherheit (bzgl. Niederschlägen, Hochwasser und Sturm) zu integrieren.

Im Rahmen der dritten Säule plant die Bundesregierung außerdem Forschung zu Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen direkter Bundesverantwortung: Wasserstraßen/Schifffahrt, Neubau/Sanierung von Bundesliegenschaften, Anpassung öffentlicher Infrastrukturen (bundeseigener Schienenverkehr, Bundesfernstraßen) und dem Bundesforst.

Die vierte Säule beschreibt die internationale Zusammenarbeit in Forschungsförderung und Projektarbeit in Organisationen wie den Vereinten Nationen, Weltbank, OECD oder der EU, die ihren Wirkungsfokus vorwiegend außerhalb der Klimaanpassung in Deutschland haben (z. B. Entwicklungszusammenarbeit).

Im wesentlichen konzentrieren sich Maßnahmen des Aktionsplans vorwiegend darauf, die Wissensbasis zur Einschätzung der Betroffenheit seitens der staatlichen und nicht-staatlichen Akteure durch Forschung und Förderung zu erweitern. Die in der Deutschen Anpassungsstrategie genannte Anforderung, Kriterien für die Identifizierung und Priorisierung von Handlungserfordernissen aufzustellen und diese für die Auswahl von Aktivitäten der Bundesressorts zu verwenden, wurde zunächst nicht erfüllt (Gawel & Heuson, 2011; Bundesregierung, 2011, S. 11), aber für den nächsten Aktionsplan (APA II) angepeilt. Die Bundesregierung (2011) sah dafür zunächst die Notwendigkeit einer Priorisierung der Klimarisiken und -folgen anhand einer Vulnerabilitätsanalyse.

10.2.1.3. Fortschrittsbericht und Aktionsplan Anpassung II

Der Fortschrittsbericht zur DAS der Bundesregierung (2015) beschreibt den Fortschritt bei der Weiterentwicklung der DAS und Umsetzung der Maßnahmen aus dem APA. Etwa ein Drittel der im APA beschlossenen Maßnahmen wurde bereits umgesetzt, die Hälfte ist noch in Umsetzung und der Rest wurde nicht umgesetzt oder befindet sich immer noch in Vorbereitung. Umgesetzte Kernvorhaben waren dabei das Aufstellen eines Monitoringsystems zur Beobachtung der Klimawandelauswirkungen und umgesetzten Anpassungsmaßnahmen, sowie eine sektorenübergreifende Vulnerabilitätsanalyse. Zudem wurden im Rahmen des Berichts die Maßnahmen des Aktionsplans Anpassung aktualisiert (APA II) und Zuständigkeiten sowie Finanzierungsquellen benannt.

Der in Zukunft alle vier Jahre erscheinende *Monitoringbericht* (IMA Anpassungsstrategie, 2015) hat vorwiegend informatorischen Charakter. Dargestellt werden beobachtete und gemessene Folgen des Klimawandels und begonnene Anpassungsmaßnahmen in den Handlungsfeldern der DAS, sowohl von staatlicher als auch von privater Seite. Voraussetzung für den Einbezug von Indikatoren war die zukünftige Verfügbarkeit von Daten, sodass nicht alle wesentlichen Entwicklungen abgebildet wurden. Der Begriff Monitoring wird dabei anders ausgelegt als in dieser Arbeit, da nicht die Optimalität der staatlichen oder privaten Aktivitäten überwacht wird, sondern lediglich beobachtend beschrieben wird, ohne auf einen staatlichen Eingriff abzielen. Dennoch können diese Informationen in Zukunft als Grundlage für ein steuerndes Monitoring eingesetzt werden.

Die *Vulnerabilitätsanalyse* (Anhang 2 zu Bundesregierung, 2015) hatte zum Ziel, die Klimafolgenrisiken und entsprechende Handlungserfordernisse mit einer sektorenübergreifenden und deutschlandweit einheitlichen Methodik zu bewerten. Hierzu wurde bereits im September 2011 das "Netzwerk Vulnerabilität", ein Netzwerk von 16 Bundesoberbehörden aus neun Ressorts, gegründet, das finanziert durch das BMUB und wissenschaftlich geleitet durch das UBA die Analyse vorgenommen hat.⁹ Es wurde versucht die in den verschiedenen Handlungsfeldern erfolgte Anpassung und Anpassungskapazität mit den regionalen, sektoralen und gesamtgesellschaftlichen Veränderungen zu vergleichen, die durch den Klimawandel verursacht werden können. Die relevanten Klimawirkungen wurden teils mittels Wirkmodellen und Indikatoren, vorwiegend jedoch mittels Expertengesprächen hinsichtlich ihrer Stärke und räumlichen Verteilung bewertet. Bei der Abschätzung der Anpassungskapazität wurden nicht die tatsächlichen Kapazitäten staatlicher Institutionen und Akteure bewertet, sondern die potentiellen Ressourcen. Zudem wurde keine konsistente und einheitliche Methodik verwendet, und es fehlten Daten

⁹ Teilnehmer sind das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), das Bundesamt für Naturschutz (BfN), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW), das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Johann Heinrich von Thünen-Institut, die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), der Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (PT-DLR), das Robert-Koch-Institut (RKI) und das Umweltbundesamt (UBA).

zur Quantifizierung. Die aus der Differenz zwischen Klimawirkung und Anpassungskapazität bestimmte Vulnerabilität der Handlungsfelder ist somit lediglich eine grobe Abschätzung. Aus diesem Grund wurde eine Priorisierung der Handlungserfordernisse nicht vorgenommen.

Mit dem *Aktionsplan Anpassung II* verschiebt sich der aktuelle Fokus der DAS weg von Forschung hin zu konkreter Umsetzung von staatlichen Anpassungsmaßnahmen im Bereich der operativen Bundesverwaltung (insbesondere Fachbehörden), und zu Bereitstellung von Wissen für Entscheidungsträger und Akteure außerhalb dieser. Während im ersten APA vorwiegend befristete und projektartige Maßnahmen beschlossen wurden, sollen bestimmte Aufgaben in Zukunft längerfristig etabliert werden. Die Anpassung an den Klimawandel soll zudem „systematisch in bestehenden informatorischen, rechtlichen und ökonomischen Instrumenten“ (Bundesregierung, 2015, S. 9) verankert werden. Dafür soll der bereits auf EU-Ebene angewandte Mainstreaming-Ansatz (siehe Kapitel 7.4 und 10.1) nun auch für die verschiedenen fachspezifischen Strategieprozesse der Bundesressorts verwendet werden.¹⁰ Der Bund will zudem mit weiterer Rahmensetzung in Form von informellen, ökonomischen und Rechtsinstrumenten eine steuernde Funktion einnehmen. Mit informellen Instrumenten sind Informations-, Kooperations- sowie Beteiligungsmaßnahmen zwischen staatlichen und nicht-staatlichen Akteuren gemeint. Unter verbindlichen formellen Instrumente versteht der Bund rechtliche Rahmensetzungen, wie Gesetze und Verordnungen sowie technische Regelwerke und Normen. Was jedoch unter ökonomischen Instrumenten verstanden wird, ist leider nicht genauer spezifiziert.

Der APA II (Anhang 3 zu Bundesregierung, 2015) beinhaltet eine Liste von mehr oder weniger konkreten Maßnahmen, die nach Clustern von relevanten Handlungsbereichen wie in der Vulnerabilitätsanalyse untergliedert sind. Die von Anbeginn der DAS angestrebte Priorisierung von Maßnahmen wurde weiterhin nicht vorgenommen. Zwar wurde ein Forschungsbericht für die Priorisierung der Maßnahmen in Auftrag gegeben (Blobel et al., 2016), welcher dafür sogar eine eigene Entscheidungsmethode (PrioSet) entwickelt hat, jedoch wurde dieser beim APA II nicht berücksichtigt. Dies kann allerdings auch an der Fertigstellung des Forschungsberichtes kurz vor Veröffentlichung des APA II liegen.

10.2.2. Bundesländer

Alle deutschen Bundesländer haben sich mit der Anpassung an den Klimawandel politisch auseinandergesetzt. Die Mehrzahl der Länder hat sektorenübergreifende und eigenständige Anpassungsstrategien veröffentlicht (Bayern, 2009; Brandenburg, 2008; Bremen, 2012; Hamburg, 2013; Hessen, 2012; Niedersachsen, 2013; Nordrhein-Westfalen, 2009; Saarland, 2008; Sach-

¹⁰ Zusätzlich zum Mainstreaming auf europäisches Geheiß, bei Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, sieht der Bund starke Überschneidungen von Anpassung mit folgenden nationalen Strategieprozessen: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen; Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels; Nationale Nachhaltigkeitsstrategie; Deutsche Rohstoffstrategie; Ressourceneffizienzprogramm ProgRess; Waldstrategie 2020; Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt; Bundesprogramm Biologische Vielfalt; Grünbuch „Grün in der Stadt“; Hightech-Strategie 2020.

sen, 2009; Sachsen-Anhalt, 2010; Schleswig-Holstein, 2011; Thüringen, 2009). Ein Teil der Anpassungsstrategien ist dabei Bestandteil einer weiter gefassten Klimastrategie inklusive Klimaschutz (z. B. in Bremen, Brandenburg, Saarland). Damit tragen die Bundesländer zur Regionalisierung der deutschlandweiten Anpassungsstrategie bei. Manche Bundesländer beschränken sich auf bestimmte Sektoren.¹¹ Bei nur einem Bundesland ist bisher keine Anpassungsstrategie erstellt worden.¹²

Die Bezeichnungen der Dokumente lassen dabei keinen Rückschluss über den formalen Status der Länderaktivitäten zu (Bundesregierung, 2011, Anlage H.2, S.1). Einige Anpassungsstrategien wurden durch die Landesregierungen beschlossen (Bayern, 2009; Berlin, 2011; Niedersachsen, 2013; Saarland, 2008; Nordrhein-Westfalen, 2015), andere stellen eine Vorbereitung für solche Beschlüsse oder Diskussionsanregungen dar. Manche Länder haben die Klimaanpassung gesetzlich verankert (Nordrhein-Westfalen, 2013; Bremen, 2015; Berlin, 2016). Die Ausarbeitung der einzelnen Strategien und Aktionspläne ist sehr unterschiedlich. Nicht alle Länder haben bereits konkrete Anpassungsmaßnahmen und Schritte zur Umsetzung konkret benannt. Auch wenn Handlungs- und Maßnahmenoptionen beschrieben werden, ist die Umsetzung meist nicht verbindlich geregelt.

Weiterhin haben die Länder in Kooperation mit dem Bund in der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2010) und der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden (LABO, 2010) ein Strategiepapier und ein Positionspapier mit Handlungsempfehlungen bezüglich des Klimawandels erarbeitet. Darin beschlossen wurde die Zusammenarbeit in den Bereichen Gesundheit, Biodiversität, Wasserwirtschaft und Landwirtschaft. Konkret wurden zum Beispiel Frühwarnsysteme zum Informationsaustausch zwischen den beiden politischen Ebenen (Bundes- und Landesbehörden) und ein Leitfaden zur Erstellung von Wärmelastplänen erarbeitet.

10.2.3. Kommunen

Laut einer Umfrage von Mahammadzadeh et al. (2013) aus dem Jahr 2011 gibt ein Großteil aller Gemeinden an, Klimaänderungen und deren Auswirkungen erfasst, sowie Handlungsfelder/Maßnahmen identifiziert und umgesetzt zu haben. Jedoch gehen Mahammadzadeh et al. (2013) davon aus, dass lediglich Großstädte einen systematischen Anpassungsansatz verfolgen und die Entscheidungsgrundlage kleinerer Gemeinden wenig fundiert ist. Passend zu dieser Einschätzung fanden Reckien et al. (2014) in Deutschland entsprechend nur in 13 von 40 untersuchten Städten (33 Prozent) mit über 50.000 Einwohnern einen Anpassungsplan vor.¹³

¹¹ In Mecklenburg-Vorpommern (2012) beschränkt sich auf die Forstwirtschaft. Das Saarland veröffentlichte bisher nur zu den Bereichen Forstwirtschaft, Biodiversität und Hochwasser.

¹² In Rheinland-Pfalz gibt es bisher nur einen allgemeinen Klimabericht zu den erwarteten Auswirkungen des Klimawandels ohne Maßnahmen (Rheinland-Pfalz, 2007) und einen Klimawandelbericht mit ersten strategischen Aussagen (Rheinland-Pfalz, 2013).

¹³ Im Vereinigten Königreich betrug dieser Anteil zum Vergleich 80 Prozent.

Der Fortschrittsbericht zur DAS (Bundesregierung, 2015) zeichnet ein ähnliches Bild. Ausgewertet wurden zwölf Forschungs- und Förderprogramme mit 55 Einzelvorhaben des Bundes mit Fokus auf Anpassung in Stadt und Region. Antizipative Klimaanpassung wird vielerorts betrieben ohne so bezeichnet zu werden, insbesondere bei Hochwasserschutz, Grünentwicklung, Vermeidung von Versiegelung und Hitzevorsorge. Dort wo Klimaanpassung explizit als solche vorgenommen wird, wird sie als Querschnittsaufgabe vergleichbar mit Mainstreaming verstanden. Der Fortschrittsbericht identifiziert besonders bei kleinen Kommunen zu geringe finanzielle oder personelle Ressourcen, um Vulnerabilitätsanalysen durchzuführen oder Anpassungspläne aufzustellen. In den meisten Regionen Deutschlands besteht noch kein starker Handlungsdruck. Im Fortschrittsbericht zur DAS wird für die kommunale Ebene dennoch eine verstärkte Verwaltungskooperation zwischen den Fachbehörden sowie die institutionelle Verankerung von Anpassung als Langfristaufgabe mit einer entsprechenden Festlegung verbindlicher Regeln empfohlen. Die nächste Herausforderung ist die Umsetzung konkreter Maßnahmen. Dafür fehlen an vielen Stellen regionalisierte Klimainformationen. Zudem ist die Verteilung der Lasten zwischen staatlichen und privaten Akteuren noch nicht genügend geklärt. Ein weiteres Problem ist, dass technische Infrastrukturen nur bis zu einem gewissen Grad angepasst werden können. Der Fortschrittsbericht schlägt vor ökonomische Kosten- und Nutzenaspekte zu beachten, die zunächst jedoch abschätzbar gemacht werden müssen. Ebenso werden soziale Implikation bisher noch nicht genug beachtet. Zur Förderung der Akzeptanz wird eine stärkere Stakeholderbeteiligung empfohlen und schließlich fehlt es auch an einem Monitoring.

Die Kommunalebene bleibt die bisher am geringsten ausgebaute Ebene der Klimaanpassungspolitik. Wichtige Anpassungssektoren wie Hochwasserschutz und Städtebau gehören allerdings zu den üblichen kommunalen Zuständigkeitsbereichen. Wenn in Zukunft ein signifikanter Teil der umzusetzenden Anpassungsmaßnahmen aufgrund rechtlicher Regeln zur Kompetenzordnung oder Föderalismusgrundsatz auf diese politische Ebene fällt, dann wäre dies durchaus als problematisch zu bewerten. Das Fehlen von Anpassungsstrategien erschwert jedoch die Identifizierung von bereits stattfindenden Anpassungsaktivitäten auf Kommunalebene erheblich.

11. Bewertung der deutschen Anpassungspolitik

Dieses Kapitel beschäftigt sich einerseits mit der Bewertung der aktuellen deutschen Klimaanpassungspolitik und andererseits mit der Identifikation der Defizite aus ökonomischer Perspektive. Hierzu wird untersucht, inwiefern die in Kapitel 8.2 hergeleiteten anpassungspolitischen Ziele verfolgt werden und welche der verfügbaren Instrumente aus Kapitel 8.3 dafür ausgeschöpft werden (siehe Übersicht in Abbildung 8.1). Für jedes Ziel werden einleitend die jeweiligen normativen Anforderungen an die Klimaanpassungspolitik aus dem vorherigen Teil der Arbeit zusammengefasst, um anschließend den derzeitigen Stand daran zu messen.

11.1. Ordnungspolitische Rahmenbedingungen

11.1.1. Anforderungen

Die erste Anforderung an die Klimaanpassungspolitik ist es, ordnungspolitische Rahmenbedingungen für eine effiziente Anpassung bereitzustellen. Hierzu gehört erstens die Festlegung und Durchsetzung passender *Eigentums-, Vertrags- und Haftungsrechte*. Zweitens bedarf es zur Durchsetzung dieser Rechte und zur Umsetzung staatlichen Handelns der *Schaffung von Institutionen*. Diese müssen wiederum mit *Regulierungs- und Zwangsrechten* ausgestattet werden. Drittens müssen die geschaffenen Institutionen untereinander koordiniert werden, um Synergien zu nutzen und Konflikte zu vermeiden.

11.1.2. Bewertung

Es kann davon ausgegangen werden, dass die bereits bestehenden Eigentums-, Vertrags- und Haftungsrechte in Deutschland für alle üblichen ökonomischen Tätigkeiten und damit auch für die meisten Anpassungsaktivitäten grundsätzlich ausreichend sind. Auch die bestehenden Institutionen wie Gerichte oder Ämter, die die Durchsetzung dieser grundsätzlichen Rechte gewährleisten, sind in der Lage, in Bezug auf die Klimawandelanpassung zu agieren. Dies bedeutet jedoch nicht, dass hier keinerlei Handlungsbedarf besteht. Kritisch gestaltet sich zum Beispiel die Auslegung der Eigentums-, Haftungs- und Zwangsrechte im Falle einer Deichrückverlegung aufgrund einer, bedingt durch den Klimawandel, erhöhten Flutwahrscheinlichkeit. In die-

sem Fall kann es zu Enteignungen (Zwangsrecht) kommen oder es muss geklärt werden, wer ansonsten im Falle einer verhinderten Maßnahme für den Schaden einer Flut haftet (Haftungsrecht).¹ Auch die Haftung bei ökologischen Schäden, sowohl aufgrund der Deichrückverlegung als auch aufgrund einer Flut, gestaltet sich schwierig, da Ökosysteme nur schwer bewertet werden können.

Im Rahmen des Aktionsplans Anpassung hat die Bundesregierung (2011) für die einzelnen Ressorts die Schaffung von rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Planungs- und Umweltrechts bereits angestoßen. Die Novellierung des Raumordnungsgesetzes und die Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes beinhalteten bereits einzelne Aspekte der Klimaanpassung.² Auch die Einbindung in bereits bestehende behördliche Prozesse im Rahmen der Strategischen Umweltprüfungen (SUP) und Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) ist vorgesehen. Des weiteren wurden Änderungen im Baugesetzbuch vorgenommen, die die Gemeinden veranlassen Anpassung an den Klimawandel bei der Bauleitplanung zu berücksichtigen. Reese et al. (2016) sehen vor allem im Bereich des Umwelt- und Planungsrechts sowie bei der Verstärkung des Vorsorge und Schutzniveaus weiteren rechtlichen Handlungsbedarf. So beinhalten wichtige Umweltgesetze wie das Bundesnaturschutzgesetz, Bundesbodenschutzgesetz und Bundesimmissionsgesetz noch nicht Anpassung als ausdrückliches Regelungs- und Anwendungsziel.³

Bisher wurden nur wenige Institutionen eingerichtet, die sich explizit mit der Anpassung an den Klimawandel beschäftigen. Hierzu zählen das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (Kompass), das Netzwerk Vulnerabilität und einige Institutionen auf Landesebene.⁴ Sie sind nicht mit Zwangs- oder Autoritätsrechten ausgestattet, sondern ihre Hauptaufgabe besteht darin Wissen bereitzustellen. Im Falle von Kompass handelt es sich dabei hauptsächlich um private Akteure und im Falle des Netzwerks Vulnerabilität um die politischen Entscheider im Rahmen des Ausbaus der Deutschen Anpassungsstrategie. Das Bundesumweltministeriums (BMU) ist zudem indirekt mit solchen Rechten ausgestattet und hat seine substanzielle Expertise, im Sinne von Massey & Huitema (2013b), erheblich ausgebaut. Dies geschah vorwiegend durch entsprechende Publikationen beim Umweltbundesamt (UBA) und andere delegierte Forschung. Im nächsten Schritt ist es wichtig, dass dieses Wissen nun auch bei allen in die Klimaanpassung involvierten administrativen Behörden ankommt. Im Bereich der politischen Koordination sind Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaften und eine interministerielle Arbeitsgruppe eingerichtet worden. Die einzelnen Ressorts der Bundesregierung sind in den Prozess der DAS-Erstellung eingebunden. Die Koordination mit den Kommunen ist jedoch weniger strukturiert.

¹ Generell dürfte es sich als schwierig erweisen, das Eintreten einer Flut eindeutig auf die Verhinderung einer Maßnahme zurückzuführen und die Verantwortlichen zu bestimmen.

² Die Neufassung des Raumordnungsgesetzes vom 22. Dezember 2008 (Deutscher Bundestag, 2008) nahm die Anpassung an den Klimawandel grob als Grundsatz für die räumliche Planung der Länder und Regionen auf. Die Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes vom 31. Juli 2009 (Deutscher Bundestag, 2009) beinhaltet neben der Aufnahme der Vorbeugung der Folgen des Klimawandels als Grundsatz die Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels auf das Hochwasserrisiko bei der Risikobewertung und Bestimmung der Risikogebiete.

³ Im Falle des Bundesimmissionschutzgesetzes wird dies jedoch im Rahmen des APA II bereits geprüft.

⁴ Beispielsweise das Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen in Rheinland-Pfalz, die Thüringer Klimaagentur und das Fachzentrum Klimawandel Hessen

11.2. Beseitigung von Ineffizienzen

11.2.1. Anforderungen

In der Theorie der Wirtschaftspolitik sind prozesspolitische Eingriffe bei der *Beseitigung von Marktversagen* im Rahmen der privatwirtschaftlichen Anpassung gerechtfertigt und erwünscht.⁵ Zur Beseitigung von Ineffizienzen bei der privaten Anpassung stehen dem Staat verschiedene Instrumente zur Verfügung: direkte Regulierung, marktwirtschaftliche Instrumente und staatliche Bereitstellung von Anpassungsgütern. Direkte Regulierung kann Verbote, Gebote und Auflagen (z. B. Bewässerungsverbot in Trockenperioden) beinhalten. Marktwirtschaftliche Instrumente zur Steuerung der autonomen Anpassung sind zum Beispiel Steuern, Gebühren, Lizenzen oder Subventionen. Zur staatlichen Bereitstellung von Anpassungsgütern zählt zum Beispiel der staatliche Hochwasserschutz, die Bereitstellung von Anpassungswissen oder die kommunale Schaffung von Grünflächen gegen Hitzestress in Städten.

Marktversagenstatbestände sind in Bezug auf die Klimawandelanpassung vor allem im Versicherungsmarkt und bei öffentlichen Gütern zu erwarten (Heuson et al., 2012a; Osberghaus et al., 2010a). Zudem können auch Ineffizienzen aufgrund von externen Effekten und Verhaltensbarrieren auftreten. Die *Festlegung staatlicher Eingriffsbereiche* sollte sich nach diesen Marktversagenstatbeständen richten.

Auf der anderen Seite kann es auch durch Staatsversagen zu ineffizienter Anpassung kommen. Aufgrund von Verhaltensbarrieren und beschränkter Rationalität bei staatlichen Entscheidungen selbst bedarf es einer entsprechenden *Rationalisierung* der staatlichen Klimaanpassungsentscheidungen. Hierfür können den Akteuren zum Beispiel Hilfsmittel in Form von strukturierten Entscheidungsmethoden zur Verfügung gestellt werden, die komplexe Entscheidungsprobleme mit künstlicher Rechenleistung unterstützen können.⁶ Zudem sollten staatliche Anpassungsaktivitäten einem regelmäßigem Monitoring unterzogen werden, um fortlaufende Optimalität zu gewährleisten. Regulatorische und institutionelle Barrieren können zudem die effiziente private Anpassung, zum Beispiel in Form von Überregulierung, behindern. Diesen Barrieren kann durch eine entsprechende Evaluierung der bestehenden Regulierungen entgegengewirkt werden. Zusätzlich müssen neue Regulierungen regelmäßig auf Konflikte mit den Anpassungszielen überprüft werden. Dies kann mittels Mainstreamings der Anpassungsziele bei verschiedenen fachpolitischen Bereichen erreicht werden, die zusätzlich koordiniert werden müssen, um Synergien auszunutzen.

⁵ Ist jedoch kein Marktversagen gegeben und auch sonst kein politisches Ziel gefährdet (Abschnitt 11.3 & 11.4), beschränkt sich das Aufgabenfeld des Staates auf die Bereitstellung ordnungspolitischer Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt 11.1) und die private Anpassung am Markt hat Vorrang.

⁶ Welche Anforderungen diese Methoden im Bereich Klimaanpassung erfüllen müssen wird in Kapitel 17 erörtert und welche Methoden sich dementsprechend am besten dafür eignen wird in Kapitel 18 untersucht.

11.2.2. Bewertung

Die staatlichen Eingriffsmöglichkeiten nach Marktversagenstatbeständen sind, in Abgrenzung zu autonom effizienter Anpassung, in den politischen Strategien und Aktionsplänen des Bundes und der Länder nicht geklärt. Keine der politischen Anpassungsstrategien hat versucht, aus ökonomischer Perspektive Marktversagen oder Ineffizienzen bei privater Anpassung zu identifizieren. Auf nationaler Ebene wurden lediglich Vulnerabilitäten ermittelt, welche keine Aussagekraft über die Notwendigkeit eines staatlichen Eingriffes haben. Vulnerabilität ist das Saldo aus Klimawandelauswirkungen und Anpassungskapazität, welche sich wiederum aus dem ökonomischen Kalkül privater Akteure ergibt. Steigen die ökonomischen Anreize zur Erhöhung der Anpassungskapazität zum Beispiel mit der Spürbarkeit der Klimawandelauswirkungen, ist davon auszugehen, dass Anpassung autonom vonstattengeht und die Vulnerabilität entsprechend verringert wird. Aus staatlicher Sicht sollte die Frage daher vielmehr sein, ob die private Wahl der Vulnerabilität effizient und sozial optimal ist. Für die Beantwortung dieser Frage kann die Ermittlung der Vulnerabilität ein erster Schritt sein. Jedoch muss darauf folgend auch das effiziente Level der Vulnerabilität ermittelt werden, was sich wahrscheinlich schwierig gestalten wird. Erfolgsversprechender oder zumindest weniger aufwendig kann die gezielte Identifikation von potenziellen Ineffizienzen sein. Nichtsdestotrotz ist es denkbar, dass die umfassende Ermittlung der Vulnerabilitäten in Deutschland das Potential hat, Ineffizienzen zu verringern, indem sie private Akteure auf die Fehleinschätzung ihrer eigenen wahrgenommenen Vulnerabilität aufmerksam macht. Dies kann relevant sein, wenn die eigene Vulnerabilität aufgrund falscher oder unvollständiger Informationen geringer eingeschätzt wird als die veröffentlichte Vulnerabilität im eigenen Sektor oder in der eigenen räumlichen und thematischen Kategorie.

Manche der in den Anpassungsstrategien besprochenen oder beschlossenen Maßnahmen können als Bereitstellung öffentlicher Güter interpretiert werden. Auf Bundesebene wird Anpassung der Infrastruktur und der Liegenschaften in direkter Bundesverantwortung (Bundesstraßen, Autobahnen, Wasserstraßen; Säule 3, Bundesregierung, 2011) vorgenommen und die Informationsbereitstellung in Form von Klimadaten, Anpassungsmöglichkeiten und Forschungsförderung umgesetzt (Säule 1, Bundesregierung, 2011). Auf Landesebene finden sich Maßnahmen in den Bereichen Infrastruktur, Hochwasserschutz, Erhalt der Biodiversität (z. B. Biotopverbünde) und bei der Bereitstellung von Informationen (z. B. Forschungsförderung). Dabei gibt es keine explizite Zuordnung von Zuständigkeitsbereichen zum Beispiel gemäß des Subsidiaritätsprinzips. Quer über alle politischen Ebenen hinweg fehlt es den Maßnahmen, abseits von Forschungsvorhaben, an Verbindlichkeit. Eine Priorisierung der Maßnahmen anhand von Kosten, Nutzen und zusätzlicher Kriterien war auf Bundesebene geplant, wurde jedoch im Rahmen der DAS bisher nicht umgesetzt. Wie bereits erwähnt wurde die vorgeschlagene Priorisierung (Blobel et al., 2016) bei der Erstellung des APA II nicht berücksichtigt. Insgesamt ist die Auswahl der Maßnahmen mit öffentlichem-Gut-Charakter nicht ökonomisch fundiert. Die Bereitstellung von Informationen findet sich zum Beispiel in den meisten Strategien wieder, ohne

jedoch die jeweilige Unzulänglichkeit privater Informationsbeschaffung zu überprüfen. Wünschenswert wäre anstelle einer umfassenden Informationsbereitstellung eine gezieltere Identifikation fehlender allgemeiner Informationen, da Informationen in funktionierenden Märkten auch autonom bereitgestellt werden können. Die beschlossene Informationsbereitstellung kann die Asymmetrien verringern und die Anpassung technischer Regelwerke und Normen (zum Beispiel im Bauwesen; Säule 3, Bundesregierung, 2011) kann die Auswirkungen von Moral Hazard und adverser Selektion im Versicherungsbereich verringern, es wurde bisher jedoch nicht konkret geprüft, ob gegebenenfalls eine Einführung staatlicher Versicherungen oder Pflichtversicherungen nötig ist (Präventionsstiftung, 2009; Held et al., 2012). Auf Kommunalebene werden wahrscheinlich bereits Maßnahmen umgesetzt, die der Anpassung mit öffentlichem Gut Charakter zuzuordnen wären. Diese lassen sich, wie bereits in Abschnitt 10.2.3 erklärt, jedoch aufgrund der fehlenden Anpassungsstrategien nur schwer identifizieren.

Auf nationaler Ebene kann der integrierte Ansatz der Klimaanpassungspolitik im Rahmen des Aktionsplans Anpassung, der eine sektorenübergreifend Koordination der Maßnahmen des Bundes anstrebt, die Auswirkungen externer Effekte internalisieren (Gawel & Heuson, 2011).⁷ Für grenzüberschreitende Effekte bietet die EU Koordinationsmechanismen im Rahmen ihrer Anpassungsstrategie. Es fehlt jedoch ein Konzept zur Koordination von öffentlichen Anpassungsmaßnahmen auf Landesebene und Kommunalebene sowie von privaten Anpassungsmaßnahmen untereinander.

Weiter gibt es abseits von Wissensvermittlung mittels Leitfäden und Internetplattformen, wie dem Klimalotsen (KomPass, UBA) oder dem Stadtklimalotsen (ExWoSt), kein Bestreben Verhaltensbarrieren bei privater Anpassung zu vermindern, die durch begrenzte Rationalität hervorgerufen werden. Zudem haben diese Angebote oft eher einen informativen Charakter, anstatt ein Hilfsmittel zur Bewältigung der Komplexität individueller Entscheidungen zu sein.

Letztendlich mangelt derzeit außerdem an einer Rationalisierung der staatlichen Entscheidungsprozesse zur Beseitigung politökonomischer Barrieren und Verhaltensbarrieren, zum Beispiel mittels Entscheidungsunterstützungsmethoden. Die Eingriffe der EU im Rahmen ihrer Anpassungsstrategie wurden im Auftrag des UBA ökonomisch evaluiert, und man kam zu dem Schluss, dass die europäische Anpassungspolitik geprägt ist „von eher unverbindlichen Vorgaben und Empfehlungen, Vernetzungsaktivitäten und Forschungsförderung“ (Schenker et al., 2014, S. 108). Dementsprechend ist auf dieser Ebene momentan keine eindeutige Überregulierung zu befürchten. Allerdings könnte die selbstgesteckte Zuständigkeit der EU, alle Mitgliedstaaten zur Erstellung von Anpassungsstrategien zu bewegen, einen ungerechtfertigten Eingriff in die nationale Souveränität darstellen. Auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene fehlt bisher eine solche ökonomisch fundierte Überprüfung auf regulatorische und institutionelle Barrieren. Die Veröffentlichung eines regelmäßigen Monitoringberichtes auf Bundesebene wurde zwar vereinbart, jedoch handelt es sich dabei nicht um ein Monitoring, welches die Optima-

⁷ Auf internationaler Ebene können Forschungsk Kooperationen (Säule 4, Bundesregierung, 2011) die positiven Synergien nutzen.

lität der staatlichen Aktivität überprüft und bei Missständen gegebenenfalls steuernd eingreift, sondern es werden lediglich die beobachteten Klimawandelauswirkungen und Anpassungsmaßnahmen erfasst. Dies kann wiederum daran liegen, dass die optimalen staatlichen Eingriffe in die private Anpassung noch nicht identifiziert sind. Somit ist zwar ein erster Schritt gemacht, jedoch müsste dieses Vorhaben noch weiter ausgebaut werden. Der Mainstreaming-Gedanke ist nun, nach der EU, auch auf Bundesebene angekommen und der Fortschrittsbericht zur DAS führt bereits erste fachpolitische Strategieprozesse auf, die Synergien und Konflikte mit den Zielen der Anpassungspolitik haben können. Es bleibt abzuwarten, ob eine Verankerung von Anpassung an den Klimawandel in den verschiedenen Fachressorts und eine institutionalisierte Koordination erfolgreich sein werden.

11.3. Verteilungsgerechtigkeit

11.3.1. Anforderungen

Eine weitere Anforderung an die Klimaanpassungspolitik kann die Gewährleistung von Verteilungsgerechtigkeit sein. Da es kein einheitliches Konzept von Gerechtigkeit gibt, muss zuvor im politischen Prozess entschieden werden, wie diese bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels und der Anpassung an diese ausgelegt wird.⁸ Dabei spielt vor allem *regionale Strukturpolitik* eine Rolle. Da die Auswirkungen des Klimawandels regional unterschiedlich ausfallen, können ökonomische Ungleichheiten entstehen. Der Staat kann den Ungleichheiten, bezüglich autonomer Anpassung, durch redistributive Maßnahmen wie zum Beispiel Geldtransfers, Besteuerung und Subventionen entgegenwirken. Auch Katastrophenhilfe und Katastrophenfonds stellen redistributive Maßnahmen dar, da hier von den Steuerzahlern zu den Betroffenen umverteilt wird. Schließlich müssen auch die staatlichen Anpassungsmaßnahmen selbst auf ihre Gerechtigkeitswirkung hin überprüft werden (Osberghaus et al., 2010a).

11.3.2. Bewertung

Verteilungsgerechtigkeit findet in der deutschen Klimaanpassungspolitik (Bundesregierung, 2008, 2011, 2015) keine ausdrückliche Nennung. Jedoch können auf internationaler Ebene die Einzahlung in Anpassungsfonds (Säule 4, Bundesregierung, 2011) und auf nationaler Ebene die implizite Umverteilung innerhalb der Bund-Länder-Finanzierungsprogramme als Maßnahmen zur Wahrung der Verteilungsgerechtigkeit interpretiert werden (Gawel & Heuson, 2011). Die Vergabe von Katastrophenhilfe und die Einrichtung von Katastrophenfonds wird spontan im Eintritt eines Schadensfalls entschieden und ist nicht verbindlich geregelt. Dies bringt sogar zusätzliche Ineffizienz mit sich, da die Tätigkeit des Staates als Helfer in letzter Instanz, die Anreize zu antizipativen Anpassungsmaßnahmen und zur Versicherung verringern (das sogenannte

⁸ In der ökonomischen Theorie wird oft zwischen vertikaler Gerechtigkeit, die Einkommensverteilung betreffend, und horizontaler Gerechtigkeit, die Chancengleichheit betreffend, unterschieden.

„Samariter Dilemma“). Zwar wurden bei der Vulnerabilitätsanalyse soziale Kriterien berücksichtigt und auch die soziale Ungleichheit zwischen den Regionen wurde im Fortschrittsbericht als Problem für Anpassung erkannt. Zudem empfiehlt die Auswertung der Modellvorhaben aus Stadt und Region, soziale Implikationen stärker zu berücksichtigen und sowohl sozialstrukturell als auch sozialräumlich stärker zu differenzieren. Dem Gerechtigkeitsaspekt der Klimaanpassung wurde insgesamt bisher auf keiner politischen Ebene genügend Rechnung getragen. Es fehlen die Identifikation von potenziellen Quellen der Ungerechtigkeit in der Anpassung, Maßnahmen zur Minderung dieser Ungerechtigkeiten und auch die Berücksichtigung der Verteilungswirkung von staatlichen Maßnahmen in der Klimaanpassungspolitik. Insgesamt kann es dadurch zu einer ungerechten Lasten- und Chancenverwertung bei der privaten Anpassung an den Klimawandel kommen.

11.4. Versorgungssicherheit

11.4.1. Anforderungen

Der Klimawandel kann die Versorgung mit Gütern wie Energie, Wasser und Nahrung gefährden, deren Ausfall oder Mangel bedeutende Auswirkungen auf das menschliche Wohlergehen oder die wirtschaftliche Produktion hätte. Ziel der Klimaanpassungspolitik kann es sein, die Versorgungssicherheit in diesen Bereichen zu gewährleisten.

11.4.2. Bewertung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat ein Sondierungsgutachten zur Prüfung des Forschungsbedarfs bezüglich Versorgungssicherheit und Klimawandel in Auftrag gegeben (Deutscher Bundestag, 2013). Außerdem führt der Fortschrittsbericht die Technische Regel für Anlagensicherheit der Kommission für Anlagensicherheit „Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“ (TRAS 310) als Fortschritt bei der Rahmensetzung durch den Bund (Säule 2 des APA) auf. Implizit wird dieses Ziel somit teilweise verfolgt, es fehlt jedoch der expliziten Festlegung von Versorgungssicherheit als Ziel der deutschen Anpassungsstrategie, damit alle damit verbundenen Aspekte Berücksichtigung finden.

12. Mögliche Verbesserungsansätze

Die im vorigen Abschnitt dargestellten Defizite der deutschen Klimaanpassungspolitik liegen vor allem bei der Beseitigung von Ineffizienzen privater Anpassung. Dabei fehlt es einer strukturierten und ökonomisch fundierten Festlegung von staatlichen Eingriffsbereichen in die private Anpassung wie zum Beispiel bei öffentlichen Gütern, Informationsasymmetrien, externen Effekten und Verhaltensbarrieren. Aber auch die weniger ökonomisch fundierten Aspekte wie Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit finden bei der bisherigen Anpassungspolitik zu wenig Beachtung. Bei der Bereitstellung ordnungspolitischer Rahmenbedingungen fehlt lediglich eine umfassende Koordination der staatlichen Akteure auf den unteren politischen Ebenen. Schließlich fehlt auch die Adressierung politökonomischer Barrieren, die eine effiziente und rationale Klimaanpassungspolitik behindern können, und ein entsprechendes Monitoring, welches dies verhindern könnte. Basierend auf diesen Defiziten werden im Folgenden verschiedene Lösungsansätze für die deutsche Klimaanpassungspolitik vorgestellt.

12.1. Festlegung staatlicher Eingriffsbereiche

Es kann eine eindeutigere Festlegung staatlicher Eingriffsbereiche erfolgen, die sich, wie in Kapitel 6 vorgestellt, nach Marktversagen und Wahrung anderer politischer Ziele wie Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit orientiert. Hierzu müssen die einzelnen Handlungsfelder der Klimaanpassung aus Kapitel 4 darauf überprüft werden, ob private Anpassung zu einem effizienten, gerechten und versorgungssicheren Ergebnis kommt oder ob es staatlichen Handelns bedarf. Falls sich die private Anpassung in einzelnen Bereichen als ineffizient, ungerecht oder anderweitig unzulänglich erweisen sollte, muss über den Einsatz der passenden Instrumente in diesen Bereichen entschieden werden. Die Bereitstellung öffentlicher Anpassungsgüter sollte ökonomisch fundiert sein. Bei unzureichender Verfügbarkeit oder Nachfrage von Versicherungen (z. B. aufgrund von Informationsasymmetrien) sollte die Einführung einer staatlichen Pflichtversicherung überprüft werden. Zudem kann die Einführung von Registern mit individuellen Risiken Informationsasymmetrien im Versicherungsbereich und die damit verbundenen Ineffizienzen vermindern (Osberghaus et al., 2010a).

Die Umsetzung der staatlichen Klimaanpassungspolitik bedarf der Festlegung einer geeigneten politischen Entscheidungsebene (international, national, regional, lokal). Im Weißbuch der EU-Kommission (2009) wird vorgeschlagen, dass Anpassungspolitik dem Subsidiaritätsprinzip folgen soll, was ein wichtiges Konzept der Europäischen Union und föderaler Staaten zur po-

litischen Aufgabenverteilung ist.¹ Nach dem Subsidiaritätsprinzip ist die politische Entscheidungsebene so dezentral zu wählen, dass sie gerade noch den Teil der Bevölkerung umfasst, der von der Auswirkung des Klimawandels betroffen ist, auf welche die Maßnahme abzielt, ohne dass die auf dieser Ebene getroffenen Entscheidungen Auswirkungen auf andere föderale Entscheidungseinheiten haben. Während das Subsidiaritätsprinzip auf einem räumlichen Externalitäten-Argument basiert, könnte auch die unterschiedliche Verfügbarkeit von Informationen auf den verschiedenen Ebenen (von zentral bis individuell) bei der Festlegung der richtigen Entscheidungsebene eine Rolle spielen. Konrad & Thum (2014) weisen nämlich darauf hin, dass zum Beispiel eine nationale Regierung gut über die generellen Auswirkungen des Klimawandels informiert sein kann, der einzelne Hausbesitzer üblicherweise jedoch besser über die Vulnerabilität seines Hauses gegenüber Stürmen, Starkregen oder Hitzewellen sowie über die passenden Maßnahmen informiert ist.

12.2. Berücksichtigung von Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit

Die Auswirkungen des Klimawandels und die entsprechenden autonomen Anpassungsaktivitäten sind auf ihre Verteilungswirkung hin zu überprüfen. Aus den regional unterschiedlichen Betroffenheiten können Unterschiede in der Bevölkerung hervorgehen, die einen staatlichen redistributiven Eingriff benötigen, der über die Bereitstellung von spontaner Katastrophenhilfe hinausgeht.

Zudem sollten sichergestellt werden, dass staatliche Anpassungsmaßnahmen keine unerwünschte distributive Wirkung haben. Es muss dabei zwischen ökonomischer Effizienz und “Gerechtigkeit” abgewogen werden.² Nicht jede Maßnahme, die mit positivem Nettonutzen ökonomisch effizient ist, muss auch „gerecht“ sein. Zum Beispiel könnte nur ein kleiner Kreis von Betroffenen von einem Deich profitieren, während der Rest der Zahlenden nur die Kosten trägt. Ob dies gerecht ist, muss letztendlich im gesellschaftlichen Diskurs entschieden werden. Neben staatlicher Umverteilung (z. B. durch Steuern, Direkthilfen, Katastrophenfonds usw.) ist die Ausführung von Anpassungsmaßnahmen durch den Staat selbst auch als Mittel zur Wahrung der Verteilungsgerechtigkeit zu betrachten.

Auch der Aspekt der Versorgungssicherheit sollte ausdrücklich in die strategische Ausrichtung der deutschen Klimaanpassungspolitik aufgenommen werden. Es sollte sichergestellt werden, dass bestehende Institutionen zur Wahrung der Versorgungssicherheit (z. B. die Bundesnetzagentur) die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels bei ihren Tätigkeiten berücksichtigen.

¹ Das Subsidiaritätsprinzip wird ökonomisch fundiert durch das Korrespondenzprinzip und das Dezentralisierungsprinzip des „Fiskalischen Föderalismus“ von Oates (1972). Siehe Kapitel 6.1.1.

² Erschwerend wirkt sich jedoch aus, dass sich für “Gerechtigkeit” bisher kein einheitliches allgemeines ökonomisches Konzept etabliert hat. Dementsprechend ist Gerechtigkeit schwer quantifizierbar und messbar.

12.3. Rationalisierung und Monitoring der politischen Entscheidungen

Den ineffizienten staatlichen Anpassungsentscheidungen aufgrund beschränkter Rationalität und anderer Verhaltensbarrieren sollte in der Klimaanpassungspolitik Rechnung getragen werden. Eine entsprechende Strukturierung mittels Entscheidungsunterstützungsmethoden kann dank künstlicher Rechenkapazität die Komplexität der Anpassungsentscheidungen verringern und damit beschränkter Rationalität und anderen Verhaltensbarrieren entgegenwirken. Die Verwendung von Entscheidungsmethoden erzwingt die Verwendung bestimmter Informationen und kann somit helfen Wissensdefizite zu identifizieren und zu beheben. Zudem können bei beschränkten Ressourcen nicht alle nötigen Maßnahmen der Klimawandelanpassung auf einmal umgesetzt werden. Daher müssen Maßnahmen anhand relevanter Entscheidungskriterien priorisiert werden, die später in Kapitel 16 erörtert werden. Zusammenfassend bedarf es einer umfassenden Aufstellung aller verfügbaren Maßnahmen, ihrer Wirkung (Nutzen) und ihrer Kosten. Bewertungen weiterer Kriterien wie Fairness und Robustheit müssen eventuell von Experten oder Stakeholdern eingeholt werden.

Mit PrioSet wurde eine erste Entscheidungsmethode zur Priorisierung der Maßnahmen im Rahmen der DAS vorgeschlagen. Es gibt eine Vielzahl von Entscheidungsmethoden die potenziell für den Einsatz in der Anpassungspolitik in Frage kommen, dennoch wurde im Falle von PrioSet eine additive Wertgewichtungsmethode gewählt ohne die verschiedenen anderen Alternativen in Betracht zu ziehen. Eine detaillierte Untersuchung verschiedener Entscheidungsmethoden für die Verwendung im Bereich Anpassung wird jedoch im nächsten Teil dieser Arbeit vorgenommen.

Um die ineffiziente Wirkung von politökonomischen Barrieren einzugrenzen, kann eine Strukturierung der politischen Entscheidungen mittels Entscheidungsmethoden angestrebt werden. Ein Entscheidungsprozess nach festgelegten Kriterien und dessen Offenlegung können dazu beitragen, dass weniger nach Eigeninteressen oder nach einseitiger Lobby-Beeinflussung entschieden wird. Ebenfalls kann mittels vorher festgelegter methodischer Entscheidungsverfahren leichter eine Evaluierung oder ein fortlaufendes Monitoring der getroffenen Entscheidungen vorgenommen werden. Insgesamt muss die gesamte Umsetzung sowohl auf politischer Ebene als auch auf behördlicher Ebene kontrolliert werden, um Abweichungen vom sozialen Optimum und dem Einfluss von Eigeninteressen entgegenzuwirken. Dazu bedarf es eines umfassenden Monitorings, welches auch steuernd eingreifen kann.

13. Zwischenfazit

Obwohl der Prozess bereits vor Jahren angestoßen wurde, befindet sich die deutsche Anpassungspolitik dennoch auf allen politischen Ebenen noch in der Entwicklung. Besonders auf Gemeindeebene fehlen aufgrund von Ressourcenmangel strategische Überlegungen zum Umgang mit dem Klimawandel. Aber auch auf höheren politischen Ebenen sind noch längst nicht alle nötigen Entscheidungen getroffen und man ist immer noch mit der Schließung von Wissenslücken beschäftigt - was bei dem Ausmaß der mit dem Klimawandel verbundenen Unsicherheiten und der Vielfältigkeit an Auswirkungen durchaus noch länger dauern kann. Insgesamt ist es nicht überraschend, dass sich bei der positiven Analyse der gegenwärtigen Klimaanpassungspolitik in Deutschland eine Reihe von Defiziten zeigten. Diese liegen vor allem in der mangelnden Abgrenzung zwischen der privat umzusetzenden Anpassung und den erforderlichen Staatseingriffen. Zudem werden Ineffizienzen aufgrund von Verhaltensbarrieren und politökonomischer Barrieren, sowie Aspekte der Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit, nicht ausreichend berücksichtigt.

Zwar wird in dem kürzlich erschienen Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie bereits vom Übergang zur Umsetzung von staatlichen Anpassungsmaßnahmen durch die operative Bundesverwaltung gesprochen, doch handelt es sich dabei eher um die Anpassung der bereits laufenden staatlichen Aktivitäten als um zusätzliche öffentliche Bereitstellung von Anpassungsgütern. Die Abgrenzung von staatlicher Verantwortung im Gegensatz zur Anpassung in Verantwortung von privaten Akteuren steht noch nicht im Fokus. Spätestens jedoch wenn die Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland spürbarer werden, wird eine klare Linie diesbezüglich unumgänglich. Während Ineffizienzen, Ungerechtigkeiten oder sonstige Probleme marktwirtschaftlicher Anpassung sich sicherlich erst dann zeigen werden, können bereits jetzt staatliche Eingriffsbereiche auf Basis von erwarteten Marktversagen festgelegt werden und erste Vorsorgemaßnahmen gemäß des Vorsorgeprinzips getroffen werden. Andersherum kann dort an die private Verantwortung appelliert werden, wo mit einer marktwirtschaftlich effizienten Anpassung zu rechnen ist, um private Vorsorge zu stärken und dem Samariter Dilemma vorzubeugen.

Wie im letzten Kapitel bereits angesprochen, können die restlichen Verbesserungen - die explizite Berücksichtigung von Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit sowie die Rationalisierung der politischen Entscheidungsfindung - mittels Entscheidungsmethoden angegangen werden. Da bereits jetzt Entscheidungen bezüglich staatlicher Anpassung getroffen werden und sie in Zukunft voraussichtlich an Bedeutung und Anzahl zunehmen werden, macht es

Sinn, sich bereits jetzt genauer mit den Bedingungen und Möglichkeiten auseinanderzusetzen, diese möglichst effizient zu gestalten. Nun sind Entscheidungen bezüglich der Anpassung an den Klimawandel aufgrund mehrerer Gründe nicht mit den üblichen politischen Entscheidungen zu vergleichen und es ergeben sich mitunter spezielle Schwierigkeiten. Daher eignet sich nicht jede beliebige Entscheidungsmethode zur Unterstützung der Anpassungspolitik. Welche Eigenheiten staatliche Anpassungsentscheidungen aufweisen und welche Methoden sich folglich zum Einsatz in diesem Gebiet eignen, wird im nächsten Teil der Arbeit untersucht.

Teil IV.

Präskriptive Entscheidungstheorie der Klimaanpassungspolitik

Die im letzten Teil identifizierten Defizite der deutschen Anpassungspolitik zeigen, dass trotz der umfangreichen Bemühungen seit Aufstellung der Deutschen Anpassungsstrategie noch viel Handlungs- und Entscheidungsbedarf zur Erfüllung der normativen Anforderungen aus Teil II besteht. Die größte Herausforderung wird in nächster Zukunft die verbindliche und konkrete Auswahl staatlicher Anpassungsmaßnahmen in Form von prozesspolitischen Instrumenten sein. Die Auswahl dieser Maßnahmen stellt einen Entscheidungsprozess dar, der ungewöhnlich komplex, vielfältig und anfällig für Ineffizienzen ist.

Die Lösung scheint auf der Hand zu liegen: mit strukturierten Entscheidungsmethoden, wie zum Beispiel der Kosten-Nutzen-Analyse oder Multikriteriellen Analyse, lässt sich anhand quantitativer Kennzahlen oder qualitativer Bewertungen eine „optimale“ Auswahl an Anpassungsmaßnahmen errechnen. Diese Methoden bieten sich in erster Linie an, um unter Zuhilfenahme von künstlicher Rechenkapazität die Komplexität der Anpassungsentscheidungen zu bewältigen und damit Hindernisse der beschränkten Rationalität des Menschen zu überwinden. Die Verwendung von Entscheidungsmethoden ermöglicht es zum Beispiel, umfangreiche quantitative Informationsdatensätze wie Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Klimafolgenentwicklung und damit verbundene Kosten und Nutzen gleichzeitig und „rational“ in die Entscheidung einfließen zu lassen. Außerdem ermöglichen manche Methoden die Abwägung mehrerer Kriterien, die in unterschiedlichen Einheiten gemessen werden. So können monetäre Kostenaspekte mit qualitativen Einschätzungen zu Robustheit, Akzeptanz oder Fairness verglichen werden. Der Einsatz von Entscheidungsunterstützungsmethoden im Anpassungsbereich wird sowohl in der wissenschaftlichen als auch in der politikberatenden Literatur so oft angeführt (Klein & Tol, 1997; Smit et al., 2001; Willows & Connell, 2003; *Metroeconomica*, 2004; Gamper & Turcanu, 2007; Hallegatte, 2009; Hallegatte et al., 2011, 2012; Heuson et al., 2012a; UNEP, 2013; Vetter & Schauser, 2013; Schenker et al., 2014), dass der Eindruck entsteht, sie seien ein Allheilmittel für alle staatlichen Anpassungsentscheidungen und Garantie für eine optimale staatliche Anpassung. Eine wissenschaftlich fundierte Begründung für die Auswahl bestimmter Methoden sucht man dabei jedoch vergeblich. Auch eine umfassend strukturierte Analyse der Eignung von verfügbaren Entscheidungsmethoden wurde bisher nicht vorgenommen.¹ Diese Lücke versucht diese Arbeit zu schließen.

Die Motivation der Verwendung von Entscheidungsmethoden spezifisch für die Anpassungspolitik wird in Kapitel 14 vorgestellt. Das Kapitel 14.1 fasst zunächst die in der Literatur zu findende argumentative Motivation der Verwendung von Entscheidungsmethoden im Anpassungsbereich auf Grundlage spezifischer Entscheidungsprobleme zusammen. Anschließend wird in Kapitel 14.2 die modelltheoretische Vorteilhaftigkeit der Verwendung dieser Methoden für politische Entscheider bei der staatlichen Anpassung gezeigt. Schließlich wird in Kapitel 14.3 auf das Potential der Methoden zur Unterstützung der anpassungspolitischen Ziele und zur Überwindung der Defizite der derzeitigen Anpassungspolitik eingegangen.

Die bei der Ausgestaltung der Anpassungspolitik zu treffenden staatlichen Entscheidungen

¹ Watkiss et al. (2014) versuchen im Rahmen einer Literaturstudie eine solche Analyse im Ansatz.

sind jedoch nicht alle gleich. Es gibt nicht nur eine Vielzahl von Entscheidern auf verschiedenen Ebenen, sondern die Entscheidungen unterscheiden sich auch nach ihren räumlichen und thematischen Fokussen. Dabei lässt sich grob zwischen einem politischen und einem administrativen Entscheidungsfeld unterscheiden. Zudem können sich je nach gewünschtem Ergebnis die Entscheidungsproblematiken erheblich unterscheiden. Um die Eignung der einzelnen verfügbaren Entscheidungsmethoden für die Unterstützung der Anpassungspolitik differenzierter untersuchen zu können, werden in Kapitel 15 die staatlichen Anpassungsentscheidungen daher zunächst nach Entscheidungsproblematik und Entscheidungsfeld typologisiert.

Kapitel 16 erörtert anschließend die zu bewertenden Kriterien nach denen Entscheidungen in der Anpassungspolitik getroffen werden sollten. Basierend auf den normativen ökonomischen Theorie und Erkenntnissen verschiedener Forschungsgebiete (zum Beispiel der Sozialpsychologie) werden schließlich in Kapitel 17 die ergebnisbezogenen, prozeduralen und praktischen Anforderungen an die Entscheidungsmethoden in der Anpassungspolitik formuliert. In Kapitel 18 wird die Funktionsweise der verfügbaren Entscheidungsmethoden vorgestellt, um sie anschließend anhand der zuvor aufgestellten Anforderungen zu bewerten. Dabei nimmt Kapitel verschiedene Analysen vor.

14. Motivation der Analyse von Entscheidungsmethoden

Bevor in den nachfolgenden Kapiteln die Entscheidungsmethoden für die Unterstützung der Anpassungspolitik detailliert untersucht werden, soll in diesem Kapitel zunächst generell der Einsatz und die Analyse von strukturierten Entscheidungsmethoden im Klimaanpassungskontext motiviert werden. Kapitel 14.1 fasst zunächst die spezifischen Besonderheiten und Schwierigkeiten der staatlichen Entscheidungsfindung im Bereich der Klimaanpassung zusammen, die den Einsatz bestimmter Methoden in der Anpassungspolitik sinnvoll erscheinen lassen. Kapitel 14.2 liefert daraufhin die modelltheoretische Motivation zum Einsatz dieser Methoden für politische Entscheider nach Manier der Neuen Politischen Ökonomie. In Kapitel 14.3 werden schließlich die normativen Ziele der Anpassungspolitik aus Teil II aufgegriffen und es wird gezeigt, wie Entscheidungsmethoden die Verbesserungsvorschläge aus Teil III bei der Erreichung der Verbesserungsvorschläge unterstützen können.

14.1. Entscheidungsprobleme in der Klimaanpassungspolitik

Entscheidungen im Bereich der Klimaanpassung weisen im Vergleich zu anderen politischen Entscheidungsbereichen besondere Charakteristika auf. Sie unterliegen einer hohen Ungewissheit, haben zumeist einen langen Planungshorizont, sind teilweise irreversibel, komplex und ihre Konsequenzen sind mit sehr hohen Kosten verbunden IPCC (2014a, S. 200, S. 216 und S. 956).

Die in der Klimaanpassungspolitik zu treffenden Entscheidungen sind in vielerlei Hinsicht mit einem hohen Maß an Ungewissheit verbunden. Unsicherheit besteht bezüglich der zeitlichen und räumlichen Dimension des Klimawandels, der Reaktion der bio-physischen und sozio-ökonomischen Systeme (z. B. Ökosysteme, Gesellschaft, Wasserzyklus) und der lokalen Folgen (Hallegatte et al., 2011). Die einzelnen Klimamodelle liefern teilweise sehr unterschiedliche Schätzungen über die Entwicklung des Klimas, berücksichtigen nicht immer alle Systeme und lassen sich nur schwer auf lokale Auswirkungen herunterbrechen (Adger et al., 2007; IPCC, 2014a,b). Vor allem liefern die Klimamodelle jedoch keine Wahrscheinlichkeiten des Zutreffens ihrer Prognosen, sodass es sich in der Klimaanpassungspolitik nicht um Entscheidungen unter Unsicherheit mit bestimmbarem Risiko, sondern um Entscheidungen unter „tiefer“ Ungewiss-

heit im Sinne von Knight (1921) handelt (Hallegatte et al., 2012).^{1,2} Ein weiteres Problem ist die ungewisse Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen zur Verringerung der zukünftigen klimawandelbedingten Schäden. Zudem haben die meisten Maßnahmen in den vom Klimawandel betroffenen Handlungsbereichen eine lange Lebensdauer und einen langen Planungshorizont, während sie gleichzeitig nicht ohne weiteres rückgängig zu machen sind (siehe Abschnitt 4). Dies erschwert einerseits die Planung und andererseits fallen „falsche“ Entscheidungen schwerer ins Gewicht als in anderen Bereichen. Besonders Entscheidungen über antizipative Anpassung sind mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die Komplexität der Entscheidungen ist letztlich auch deshalb besonders hoch, da meist vielfältige Synergien und Konflikte mit anderen Politikbereichen entstehen. Die Auswahl an möglichen Anpassungsmaßnahmen umfasst sehr unterschiedliche thematische Bereiche, von technischen Maßnahmen im Hochwasserschutz über regulative Maßnahmen bis zu „weichen“ Maßnahmen wie Informationsbereitstellung. Die Anpassungsentscheidungen haben zudem Auswirkungen auf die makroökonomische Wirtschaftsleistung, zukünftiges wirtschaftliches Wachstum, Allokation von Kapital in andere klima- und nicht-klimaverwandte Ressorts, Wohlstand der gegenwärtigen und zukünftigen Generationen durch Ressourcenverfügbarkeit und Risikoverteilungen in allerlei Hinsicht (IPCC, 2014a, S. 951).

Diese Besonderheiten führen zu einer Komplexität der Entscheidungssituation, die die Zuhilfenahme von wissenschaftlichen Hilfsmitteln der Entscheidungsunterstützung in der Politik sinnvoll erscheinen lässt. Aus Sicht von politischen Entscheidern könnte es aufgrund zeitlicher Inkonsistenz optimaler Pläne (Kydlund & Prescott, 1977) vorteilhaft sein, den eigenen diskretionären Spielraum gegen eine Festlegung auf eine objektive Entscheidungsmethode aufzugeben (mehr dazu im nächsten Abschnitt 14.2). Viele wissenschaftliche Arbeiten, aber auch Leitfäden von internationalen und nationalen Organisationen, sprechen sich dabei ausdrücklich für die Verwendung von Entscheidungsunterstützungsmethoden aus (Klein & Tol, 1997; Smit et al., 2001; Willows & Connell, 2003; Metroeconomica, 2004; Gamper & Turcanu, 2007; UNEP, 2013; Hallegatte, 2009; Hallegatte et al., 2011, 2012). Auch der fünfte Anpassungsbericht des Weltklimarats widmet ein Kapitel eigens dem Entscheidungsunterstützungskonzept (IPCC, 2014a, Kapitel 2.1.3) und stellt in einem weiteren Kapitel (IPCC, 2014a, Kapitel 17.3.2) die wichtigsten ökonomischen Entscheidungsmethoden für die Klimaanpassung vor. Dabei empfiehlt der Weltklimarat IPCC (2014a, S. 951): *“Generally this implies that any analysis be multi-metric, with part in monetary terms and other parts not, and some in precise quantitative terms and others not [...] In view of this, it is reasonable to conclude that an unbiased, comprehensive analysis would consist of a multi-metric analysis encompassing cost-benefit and other monetary items plus non-monetary measures. That analysis would support adaptation deci-*

¹ Zu Entscheidungen unter Unsicherheit mit bestimmbarem Risiko siehe auch Eisenführ et al. (2010).

² Beholfen wird sich oft notdürftig mit Wahrscheinlichkeiten basierend auf der Verteilung der Ergebnisse der verschiedenen Modelle (Hallegatte et al., 2012, S. 10). Wenn zum Beispiel 70 Prozent der Modelle einen Anstieg extremer Wetterereignisse vorhersagen, spricht man von einer 70 prozentigen Wahrscheinlichkeit des Zutreffens dieses Ereignisses. Diese Praxis ist jedoch unzulänglich oder sogar irreführend.

sion making.“ Dies deutet bereits darauf hin, dass im Kontext von Klimaanpassung besondere Anforderungen an die Entscheidungsmethoden bestehen, die später in Abschnitt 17 aufgestellt werden.

Zunächst stellt sich aber die Frage, warum politische Entscheider ihren diskretionären Spielraum durch die Verwendung von solchen Entscheidungsmethoden freiwillig opfern sollten. Dieser Frage widmet sich Abschnitt 14.2 mit einem einfachen Modell aus der Neuen Politischen Ökonomie.

14.2. Modelltheoretische Vorteilhaftigkeit von Entscheidungsmethoden für politische Entscheider

Aus Sicht der politischen Entscheider könnte es von Vorteil sein, sich ex ante auf eine bestimmte staatliche Anpassungsbereitstellung festzulegen. Ansonsten könnte es dazu kommen, dass die optimale staatliche Politikstrategie zeitlich nicht konsistent ist und selbst rationale Akteure in Richtung eines suboptimalen Ergebnisses abweichen (Kyddland & Prescott, 1977). Dies lässt sich vereinfacht mit Hilfe einer Abwandlung des Modells von Barro & Gordon (1983) zur Zeitinkonsistenz optimaler Pläne zeigen.

In einem solchen Modell bildet der private Sektor Erwartungen über die Anpassungsaktivitäten des Staates und wählt dementsprechend seine eigene Anpassungsaktivität. Angenommen wird, dass der Staat alle Anpassungsmaßnahmen vom privaten Sektor übernehmen kann, und somit private und staatliche Maßnahmen substituierbar sind. Wenn die Gemeinde zum Beispiel ankündigt, den Regenwetterabfluss an den zukünftigen Klimawandel anzupassen, ist es für den einzelnen Hauseigentümer nicht mehr nötig, sich anderweitig gegen Sturmfluten abzusichern. Ähnlich verhält es sich beispielsweise beim Deichbau: Übernimmt der Staat diese Aufgabe, braucht dies der private Sektor nicht mehr zu tun. Es wird zudem angenommen, dass ein sozial optimales Verhältnis von privaten und politischen Maßnahmen exogen gegeben ist. Dem Staat fallen dabei theoretisch die Anpassungsaufgaben zu, die privat - aus welchen Gründen auch immer - nicht effizient umgesetzt werden, die jedoch gesamtwirtschaftlich sinnvoll wären (in der Regel Marktversagen wie zum Beispiel bei öffentlichen Gütern). Der politische Entscheider hat gleichzeitig das Interesse, über mehr als die erwarteten und optimalen Anpassungsmaßnahmen zu beschließen, um seine Wiederwahlwahrscheinlichkeit zu steigern (Politician's Dilemma; siehe Geddes, 1994), auch wenn es zu einem sozial suboptimalen Ergebnis und Ressourcenverschwendung führt. Bezeichnen wir mit A^*_{Staat} das sozial optimale Anpassungslevel des Staates. Dieses optimale Anpassungsniveau wird als exogen gegeben angenommen. \hat{A}_{Staat} bezeichnet das durch den privaten Sektor erwartete staatliche Anpassungsniveau.³ Wird mit

³ Von den erwarteten Anpassungstätigkeiten des Staates wiederum hängt die Wahl des privaten Anpassungslevels ab, sodass $A_{privat} = f(\hat{A}_{Staat})$. Wobei angenommen werden kann, dass $\frac{\partial A_{privat}}{\partial \hat{A}_{Staat}} < 0$, da angenommen wird, dass staatliche und private Anpassungsleistungen substituierbar sind.

A_{Staat} das tatsächliche Anpassungslevel des Staates bezeichnet, dann lässt sich die Nutzenfunktion eines politischen Entscheiders wie folgt darstellen:

$$U(\hat{A}_{Staat}, A_{Staat}) = -\frac{1}{2}(A_{Staat} - A^*_{Staat})^2 + b(A_{Staat} - \hat{A}_{Staat}) \quad (14.1)$$

Der erste Term bezeichnet die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Wahl einer suboptimalen Anpassung durch den politischen Entscheider. Je weiter dabei das gewählte Anpassungsniveau vom sozialen Optimum abweicht, desto größer die Kosten. Gleichzeitig will der Politiker seine Wiederwahlwahrscheinlichkeit mit der „Überraschungsanpassung“ ($A_{Staat} - \hat{A}_{Staat}$) über das soziale Optimum hinaus erhöhen, weshalb diese mit einem positiven Gewicht ($b > 0$) als zweiter Term in die Nutzenfunktion einfließt.

Ist die Nutzenfunktion (14.1) der Regierung bzw. dem privaten Sektor bekannt, dann wird er mit einem staatlichen Anpassungslevel \hat{A}_{Staat} rechnen, das gerade so groß ist, dass es sich für den politischen Entscheider nicht lohnt, darüber hinaus „Überraschungsanpassung“ zu betreiben. Dies ist der Fall, wenn die Grenzkosten der Fehlanpassung dem Grenznutzen der Überraschungsanpassung entsprechen. Die Grenzkosten entsprechen der Ableitung von $-\frac{1}{2}(A_{Staat} - A^*_{Staat})^2$, also $A_{Staat} - A^*_{Staat}$ und der Grenznutzen beträgt b . Somit wird der politische Entscheider immer ein zu hohes Anpassungslevel von $A_{Staat} = A^*_{Staat} + b$ wählen und im Gleichgewicht entspricht die tatsächliche staatliche Anpassung immer der erwarteten staatlichen Anpassung $\hat{A}_{Staat} = A^*_{Staat} + b$.⁴

Es kann dem politischen Entscheider also nicht gelingen, „Überraschungsanpassung“ zu betreiben und damit seine Wiederwahlwahrscheinlichkeit zu steigern. Die resultierende staatliche Fehlanpassung ist dabei umso höher, je größer das Gewicht b der Steigerung der Wiederwahlwahrscheinlichkeit durch „Überraschungsanpassung“ in die Nutzenfunktion des politischen Entscheiders einfließt.

In diesem Fall ergibt sich ein Nutzen U von $-\frac{1}{2}b^2$. Nun wird klar, dass der Nutzen gesteigert werden kann, wenn sich der politische Entscheider glaubwürdig zu einer optimalen Anpassung $A_{Staat} = A^*_{Staat}$ verpflichtet. So gäbe es keine Fehlanpassung und Überraschungsanpassung, und dennoch wäre der Nutzen U mit einem Wert von Null höher. Dieses Ergebnis ist zwar abhängig von der funktionalen Form der Nutzenpräferenz, nichtsdestotrotz kann anhand dieses maximal vereinfachten Modells gezeigt werden, dass eine Regelbindung auch für einen durch Eigeninteresse motivierten politischen Entscheider vorteilhaft sein kann und bei rationalen Erwartungen ein Gleichgewicht darstellen kann.

Eine Möglichkeit für politische Entscheider sich glaubwürdig zu einem sozial optimalen Anpassungslevel zu verpflichten, ist die Verwendung von objektiven Entscheidungsmethoden, die diesen diskretionären Spielraum beseitigen oder zumindest stark einschränken und damit alle besser stellen. Die Bestimmung eines Entscheidungsverfahrens zur Berechnung der objektiv

⁴ Die Erwartung der suboptimalen staatlichen Anpassung $\hat{A}_{Staat} = A^*_{Staat} + b$ führt zudem zu einem suboptimalen privaten Anpassungslevel, da $A_{privat} = f(A^*_{Staat} + b) \neq A^*_{privat}$.

optimalen Anpassung und die Auslegung der staatlichen Anpassungspolitik nach diesem Ergebnis könnten also auch im Interesse der politischen Entscheider sein, gerade wenn von ihnen eine Überanpassung erwartet wird. Anhand verschiedener Anforderungen wird in Kapitel 18 untersucht inwiefern Entscheidungsmethoden tatsächlich eine solche glaubhafte Regelbindung darstellen.

Basierend auf den Zielen und Instrumenten aus Kapitel 8.2 und 8.3 wird im nächsten Kapitel jedoch zunächst erörtert, welche konkreten Einsatzgebiete sich für Entscheidungsmethoden zur Optimierung der politischen Entscheidungen im Bereich der Klimaanpassung auftun.

14.3. Unterstützung anpassungspolitischer Ziele durch Entscheidungsmethoden

Entscheidungsunterstützungsmethoden wurden entwickelt, um Entscheidungsprozesse zu strukturieren und optimieren. Je nach verwendeter Entscheidungsmethode können mehrere sowohl quantitative als auch qualitative Ziele oder Kriterien bewertet werden, auf Grundlage derer sich eine optimale Handlungsrangfolge errechnen lässt. Bevor in Kapitel 18 im Detail erklärt wird, wie dies funktioniert und analysiert wird, welche der einzelnen Entscheidungsmethoden sich für die Unterstützung der Anpassungspolitik eignen, wird im Folgenden zunächst diskutiert, welche der Instrumente der Klimaanpassungspolitik aus Kapitel 8.3 sich anbieten, um sie mit Methoden dieser Art zu unterstützen und welche nicht. Dabei wird auf die Erreichung der Ziele der Anpassungspolitik abgestellt: Bereitstellung regulatorischer und institutioneller Rahmenbedingungen, Effizienz, Verteilungsgerechtigkeit, Versorgungssicherheit (siehe Kapitel 8.2). Zudem wird berücksichtigt, ob gemäß den in Teil III identifizierten Defiziten und Verbesserungsmöglichkeiten der derzeitigen deutschen Anpassungspolitik überhaupt Bedarf einer solchen Unterstützung aus normativer Perspektive besteht.

Das grundsätzliche Ziel der Bereitstellung rechtlicher Rahmenbedingungen bietet sich insgesamt wenig für die Anwendung von Entscheidungsunterstützungsmethoden an. Die in Kapitel 12 vorgeschlagene *Festlegung der staatlichen Eingriffsbereiche* kann zunächst auf Basis einer theoretischen Identifikation von Marktversagen, Ineffizienzen, Ungerechtigkeiten und Gefährdungen der Versorgungssicherheit aufgrund der zuvor beschriebenen Faktoren erfolgen. Für diese strategische Grundlage werden keine Entscheidungsmethoden benötigt, da es hier noch nicht zwischen verschiedenen Optionen abzuwägen gilt, sondern legitimierte staatliche Einsatzgebiete von privater Anpassung abgegrenzt werden müssen. Auch die Festlegung institutioneller Zuständigkeitsbereiche kann zum Beispiel nach dem Subsidiaritätsprinzip erfolgen und benötigt nicht die Verwendung strukturierter Entscheidungsmethoden.

In erster Linie lassen sich mit Entscheidungsunterstützungssystemen komplexe Entscheidungsprobleme bewältigen, bei denen vielfältige Informationen einfließen und mehrere Aspekte gleichzeitig eine Rolle spielen. Zusätzlich zum *Effizienzziel* können beim Vergleich staat-

licher Anpassungsmaßnahmen mittels Entscheidungsmethoden auch *Gerechtigkeits- und Versorgungssicherheitsaspekte* berücksichtigt werden, welches der zweiten Verbesserung aus Abschnitt 12 entspricht.

Die Verwendung von Entscheidungsmethoden kann vor allem zur Beseitigung von mehreren politökonomischen Barrieren beitragen und dadurch der Forderung nach *Rationalisierung* nachkommen. Die Strukturierung von Entscheidungsproblemen, kombiniert mit künstlicher Rechenkapazität, kann den Auswirkungen von beschränkter Rationalität entgegenwirken. Die Offenlegung des politischen Entscheidungsprozesses und die Einschränkung des diskretionären Spielraumes für politische Entscheider kann darüber hinaus dem Rent-Seeking, der Ausgabenmaximierung und der Aufwandsminimierung entgegenwirken. Zudem lassen sich die Ergebnisse der meisten Entscheidungsmethoden als Ranking oder Priorisierung darstellen, was bei beschränkten Ressourcen vorteilhaft ist. Schließlich können sowohl Eingabeinformationen als auch die Ergebnisse solcher strukturierter Entscheidungsprozesse zum Monitoring der Anpassungspolitik verwendet werden.

Insgesamt bieten sich Entscheidungsmethoden also zur Verfolgung dreier anpassungspolitischer Ziele (Effizienz, Verteilungsgerechtigkeit, Versorgungssicherheit) und zur gleichzeitigen Rationalisierung des politischen Entscheidungsprozesses an oder anders gesagt: zur Erhöhung der staatlichen Effizienz.

Theoretisch kann über den Einsatz von politischen Instrumenten wie Standards, Normen, Geboten, Verboten, Lizenzen, Subventionen, Geldtransfers, Direkthilfen, Katastrophenfonds, Steuern unter Einsatz von Entscheidungsmethoden entschieden werden, jedoch haben diese Instrumente zumeist einen sehr großen Wirkungsbereich und sogar „einfachere“ Entscheidungskriterien wie *Kosten* oder *Nutzen* erfordern entweder eine umfangreiche Bewertungsvorarbeit oder es werden aggregierte und vereinfachte Bewertungen verwendet. Bei der praktischen Bereitstellung staatlicher Anpassungsleistungen (öffentliche Güter: Infrastruktur, Biodiversität, Sicherheitsleistungen, Informationen) hingegen ist der Wirkungsbereich thematisch, regional oder projektbezogen eingeschränkt und die Bewertung ist somit spezifischer. Je nachdem über welche Instrumente entschieden wird, unterscheidet sich somit das Vorgehen erheblich. Bevor daher die einzelnen Entscheidungsmethoden auf ihre Eignung für die Unterstützung der Anpassungspolitik untersucht werden können, muss zunächst klarer zwischen diesen unterschiedlichen Entscheidungssituationen staatlicher Anpassung unterschieden werden. Im folgenden Kapitel werden daher die staatlichen Anpassungsentscheidungen zunächst genauer typologisiert.

15. Typologie staatlicher Klimaanpassungsentscheidungen

So vielfältig die Instrumente staatlicher Klimaanpassung sind, so unterschiedlich sind auch die Entscheidungen, die bei ihrer Planung und Umsetzung getroffen werden müssen. Dabei kann über die in Abschnitt 8.1 erwähnten staatlichen Akteure hinaus nach verschiedenen Entscheidungsfeldern und Entscheidungsproblematiken unterschieden werden. Eine Entscheidung über die Auswahl von rein politischen Instrumenten unterscheidet sich erheblich von Entscheidungen bei der konkreten administrativen Umsetzung auf jeglicher Ebene - sei es kommunal, regional oder national. Zudem erfordert eine Auswahlentscheidung sicherlich eine andere Entscheidungsunterstützung als die Sortierung von Handlungsalternativen oder eine Rangfolgenerstellung. Dementsprechend sind je nach Entscheidungssituation Unterschiede in der Eignung verschiedener Entscheidungsmethoden zu erwarten. Im Folgenden werden mögliche Entscheidungssituationen staatlicher Anpassung nach Entscheidungsproblematik und Entscheidungsfeld kategorisiert, während dabei im Hinblick auf die Verwendung von Entscheidungsmethoden in der Klimaanpassungspolitik die relevanten Entscheidungstypen identifiziert werden.

15.1. Entscheidungsproblematiken

Voraussetzung für die Entstehung eines Entscheidungsproblems ist, dass der Entscheider bestimmte Symptome wahrnimmt, die ihm eine Situation unbefriedigend erscheinen lassen, und dass er die Möglichkeit oder Notwendigkeit erkennt, diese zu verbessern. Es entsteht ein Entscheidungsproblem, wenn es mehrere Handlungsalternativen gibt, die sich in ihrer Wirksamkeit, ihren Kosten oder anderen relevanten Aspekten unterscheiden (mehr zu diesen Aspekten später in Abschnitt 16). Im Falle der Klimawandelanpassung müssen die wahrgenommenen Symptome nicht unbedingt erst die direkten Auswirkungen des Klimawandels sein. Auch bereits ein wahrzunehmender Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre reicht aus, um daraus den Schluss zu ziehen, dass der daraus resultierende Anstieg der durchschnittlichen Temperatur eventuell negative Auswirkungen haben könnte, die jedoch durch frühzeitiges Handeln abgemindert werden könnten. Am Anfang eines jeden Entscheidungsprozesses steht dabei die Problemformulierung (Laux et al., 2012, Abschnitt 1.3, S. 12). Die Problemformulierung legt dabei fest, welches Entscheidungsergebnis angestrebt wird. Roy (1996) stellt vier Entscheidungsproblematiken auf, die grobe Kategorien von Entscheidungsproblemen darstellen:

- *Auswahlproblematik*: Ein Entscheidungsproblem mit Auswahlproblematik besteht in der Auswahl aus einer Menge an Handlungsalternativen. Dabei kann es sowohl um die Auswahl einer „besten“ Alternative gehen als auch um die Auswahl mehrerer relevanter oder akzeptabler Alternativen. So können zum Beispiel mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse alle Alternativen mit positivem Nettonutzen identifiziert werden. Auch möglich wäre es, direkt die Alternative mit dem höchsten Nettonutzen auszuwählen. Eine „Ja/Nein“-Entscheidung ist ein Spezialfall der Auswahlproblematik, bei dem es nur zwei Handlungsalternativen gibt, die Umsetzung oder Nicht-Umsetzung einer Maßnahme bzw. die Investition oder Nicht-Investition. Öffentliche Körperschaften sind beispielsweise nach §7 der Bundeshaushaltsordnung verpflichtet, ihre Maßnahmen vorab einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (ggf. mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse) zu unterziehen.
- *Sortierungsproblematik*: Bei der Sortierungsproblematik besteht das Entscheidungsproblem darin, die Handlungsalternativen in Kategorien zu sortieren, die über deren weitere Verwendung bestimmen. Jede Kategorie muss als Funktion der Betrachtung oder Beurteilung der jeweiligen Alternativen definiert werden und sollte eine intrinsische Definition haben, also nicht relativ zu den anderen Kategorien definiert werden Roy (1996, S. 62). Zum Beispiel können folgende vier Kategorien verwendet werden: (a) zur Anwendung geeignet, (b) bedarf kleiner Änderungen, (c) bedarf großer Änderungen und (d) ungeeignet. Anpassungsmaßnahmen der Kategorie (a) können ohne weiteres umgesetzt werden. Maßnahmen der Kategorien (b) und (c) werden entsprechend überarbeitet bevor sie umgesetzt werden können und Maßnahmen der Kategorie (d) werden ausgeschlossen.
- *Rangfolgenproblematik*: Bei der Rangfolgenproblematik soll das Entscheidungsergebnis eine komplette oder teilweise Rangfolge der zur Verfügung stehenden Alternativen ergeben. Diese Rangfolge gibt die Präferenz der Alternativen an, die sich aus einem Präferenzmodell ergibt. Bei einer Klassifizierung können die einzelnen Klassen auch mehrere äquivalente Alternativen beinhalten. Bei einer partiellen Rangfolge können manche Klassen unvergleichbar sein.
- *Beschreibungsproblematik*: Bei der Beschreibungsproblematik sollen die verfügbaren Handlungsalternativen und ihre Konsequenzen systematisch und formell in quantitativen und qualitativen Aspekten beschrieben werden. Dabei geht es vor allem um das Verstehen der Handlungsmöglichkeiten, um ihre die Bewertung zu erleichtern. Belton & Stewart (2002) interpretieren diese Problematik auch als Lernproblematik, da es für den Entscheider darum geht, ein umfassenderes Verständnis davon zu entwickeln, was möglich ist und was nicht. Diese Problematik ist jeweils Teil der vorherigen Entscheidungsproblematiken.

Belton & Stewart (2002) erweitern diese um zwei weitere Entscheidungsproblematiken:

- *Portfolioproblematik*: Das gewünschte Entscheidungsergebnis bei einer Portfolioproblematik ist die Auswahl einer Teilmenge der verfügbaren Alternativen, nicht nur unter Be-

achtung der individuellen Charakteristiken der einzelnen Alternativen, sondern auch unter Beachtung ihrer Interaktion und Synergien oder Konflikte. Diese Problematik rührt daher, dass sich Anpassungsmaßnahmen in ihrer Wirksamkeit gegenseitig beeinflussen können. Zum Beispiel kann das Anlegen von Polderflächen zum Hochwasserschutz gleichzeitig dem Erhalt von Biodiversität dienen. Andersherum kann es im Wintersporttourismus zu Konflikten zwischen verschiedenen Maßnahmen kommen: das Beschneien von Pisten mit Schneekanonen oder die Verwendung von Pistenraupen senken die Biodiversität.

- *Designproblematik*: Bei der Designproblematik betrifft der Entscheidungsprozess die Suche, Identifizierung und Entwicklung neuer Handlungsalternativen, um bestimmte Zielvorstellungen zu erreichen. Die Systematisierung des Designprozesses kann helfen, neue Anpassungsmaßnahmen zu gestalten. Diese Problematik würden Entscheider zum Beispiel antreffen, wenn zusätzliche unbekannte Auswirkungen des Klimawandels entdeckt würden und neue Maßnahmen vonnöten wären.

15.2. Entscheidungsfelder

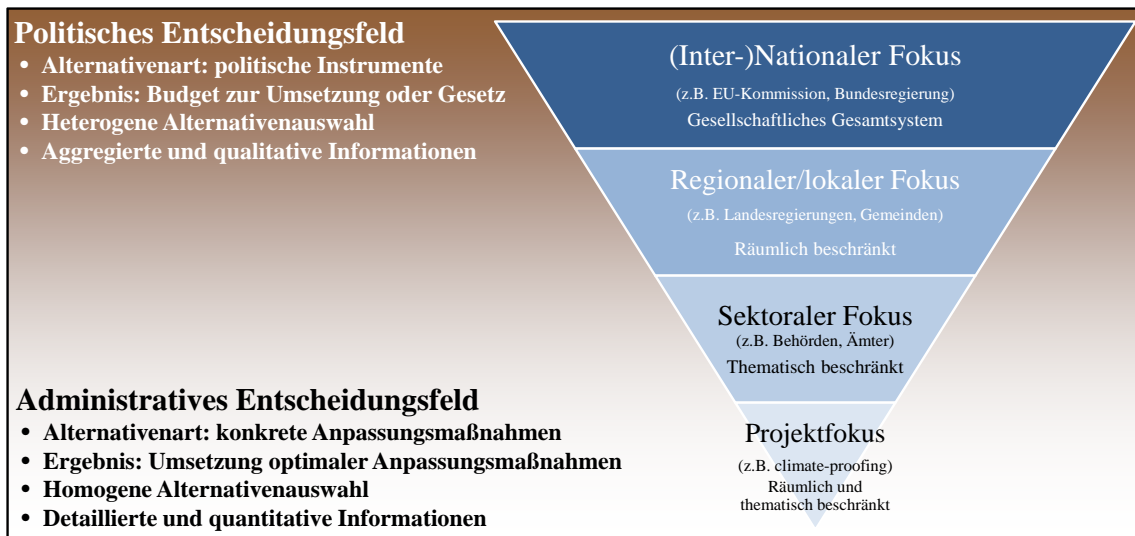
Nach der entscheidungstheoretischen Definition setzt sich ein Entscheidungsfeld aus für den Entscheider relevanten Handlungsalternativen, Ergebnissen und Umweltzuständen zusammen (siehe Laux et al., 2012, S. 30ff.). Eine Wertkonstellation von Zielgrößen, die nach Entscheidungskriterien bewertet werden, ergibt das Ergebnis einer Handlungsalternative, das je nach zukünftigem Umweltzustand unterschiedlich ausfallen kann. Es gilt im Allgemeinen: „Für den Vergleich der zur Wahl stehenden Alternativen sind nur solche Größen als Konsequenzen relevant, deren Ausprägungen für die ‚Bewertung‘ durch den Entscheider von Bedeutung sind“ (Laux et al., 2012, S. 31). Dies bedeutet, dass je nach Entscheidungsfeld unterschiedliche Entscheidungskriterien, Informationen und Handlungsalternativen relevant sind und im Entscheidungsprozess Beachtung finden. Mit dem Entscheidungsfeld ändern sich somit auch die Anforderungen an die Entscheidungsmethode, die diesen Prozess unterstützen soll. Methoden, die sich für ein Entscheidungsfeld eignen mögen, können deswegen für ein anderes Entscheidungsfeld völlig ungeeignet sein.

Um die Entscheidungsfelder der staatlichen Klimaanpassung zu identifizieren, schauen wir uns zunächst die verschiedenen *räumlichen und thematischen Fokusse* der staatlichen Entscheidungsträger an. Diese werden in Abbildung 15.1 in Form einer kopfstehenden Pyramide dargestellt.¹

Unten beginnend können auf Mikroebene Entscheidungsprobleme einen auf ein Projekt beschränkten Handlungsbereich aufweisen. Im Falle von Anpassung an den Klimawandel handelt es sich dabei vor allem um Entscheidungen bezüglich des „Climate-Proofing“ von staatlichen

¹ Diese Art der Darstellung wurde auch von Gawel et al. (2012); Gawel & Heuson (2012); Heuson et al. (2012b, 2014) für die Dimensionen der „optimalen“ Anpassung verwendet.

Abbildung 15.1.: Entscheidungsfelder und Fokusse der staatlichen Klimawandelanpassung



Quelle: Eigene Darstellung

Investitionen (siehe Abschnitt 7.4.1). Zum Beispiel können bei der Erneuerung des Abwassersystems zusätzliche Regenrückhalteanlagen eingeplant werden, um zukünftig stärker werdenden Starkregenereignissen vorzubeugen. Das Entscheidungsproblem kann sich in diesem Fall sowohl als Ja/Nein-Entscheidung darstellen (zusätzliche Regenrückhalteanlage oder keine Regenrückhalteanlage) oder auch als Wahl der Intensität des Climate-Proofing (Größe der Regenrückhalteanlage). Dabei ist der Nettonutzen der zusätzlichen Absicherung gegen die Auswirkungen des Klimawandels ausschlaggebend. Die zuständige staatliche Instanz hat in dieser Entscheidungssituation einen Projektfokus, bei dem die relevanten Informationen und Entscheidungskriterien entsprechend räumlich und thematisch auf ein spezifisches Projekt beschränkt sind.

Staatliche Entscheidungsträger mit einem sektoralen Zuständigkeits- und Verantwortungsbereich, wie ihn zum Beispiel Behörden oder Ämter haben, verfügen über einen umfassenderen Fokus. Zwar betreffen die Entscheidungsprobleme mit sektorialem Fokus auch nur einen Handlungsbereich, jedoch kann auf eine Vielzahl von unabhängigen Handlungsalternativen zurückgegriffen werden, die über den einzelnen Projektfokus hinausgehen. Zum Beispiel kann das Stadtplanungsamt angesichts der klimabedingt zunehmenden Hitzeperioden zwischen der Einrichtung von zusätzlichen Parks, Freiluftschnitten und offenen Wasserflächen zur Vermeidung von Hitzeinseln im städtischen Raum auswählen. Die für die Entscheider mit sektorialem Fokus relevanten Informationen und Entscheidungskriterien sind zwar thematisch beschränkt, räumlich gibt es jedoch keine Begrenzung. So agieren Bundesbehörden mit sektorialem Fokus sogar auf nationaler Ebene.

Entscheidungsträger mit regionalem oder lokalem Fokus haben zwar einen räumlich beschränkten Handlungsbereich, ihre Entscheidungen umfassen jedoch thematisch alle in dem jeweiligen Gebiet gesellschaftlich relevanten Bereiche. Während administrative Entscheidungs-

träger zumeist einen sektoralen Entscheidungsfokus haben, verfügen gewählte Volksvertreter in Landesregierungen oder kommunalen Gebietskörperschaften (z. B. Gemeinderäte, Stadträte oder Bürgermeister) über einen umfassenden regionalen oder lokalen Entscheidungsfokus. Die Entscheidungen können dabei theoretisch alle in Abschnitt 4 genannten Anpassungsbereiche vom Gesundheits- bis zum Tourismussektor betreffen.. Auch wenn die Anzahl der relevanten Alternativen, Entscheidungskriterien und Umweltzustände bei Entscheidungen mit regionalem oder lokalem Fokus nicht größer sein muss als bei Entscheidungen mit sektorialem Fokus, so ist dennoch davon auszugehen, dass die Heterogenität dieser Entscheidungsvariablen in der Regel größer sein wird.

Auf nationaler oder internationaler Politikebene gibt es schließlich weder räumlich noch thematisch eine Beschränkung des Entscheidungsfeldes. So lange nicht gegen das Subsidiaritätsprinzip verstoßen wird, können alle gesellschaftlich relevanten Probleme bei der politischen Entscheidungsfindung angegangen werden. Somit haben politische Entscheidungsträger mit einem nationalen oder internationalen Fokus sicherlich das weiteste Entscheidungsfeld. Die Europäische Anpassungsstrategie (EU-Kommission, 2013a), die Deutsche Anpassungsstrategie (Bundesregierung, 2008) und der Aktionsplan Anpassung (Bundesregierung, 2011) geben einen guten Eindruck davon, wie umfangreich das internationale und nationale Entscheidungsfeld der staatlichen Klimaanpassung ist (mehr dazu in Kapitel 10). Gleichzeitig weisen die verwendeten Informationen auf dieser Ebene den höchsten Vereinfachungs- und Aggregationsgrad auf, da ansonsten die Informationsfülle nicht handhabbar wäre. Zudem sind die getroffenen politischen Entscheidungen auf nationaler oder internationaler Ebene tendenziell unspezifischer und beinhalten anstelle von konkreten Anpassungsmaßnahmen oft nur grobe Ziel- und Budgetvorgaben. Auch davon gibt die „Deutsche Anpassungsstrategie“ und der „Aktionsplan Anpassung“ einen guten Eindruck. Auf dieser Entscheidungsebene spielen außerdem verstärkt Kriterien eine Rolle, die lediglich qualitativ bewertet werden können. Beispielsweise wird Verteilungsgerechtigkeit vorwiegend auf dieser Ebene angestrebt, während sie auf Projektebene oder lokaler Ebene selten beachtet wird.

Insgesamt lassen sich anhand dieser Fokusse grob zwei Entscheidungsfelder der staatlichen Klimaanpassung identifizieren: das *politische Entscheidungsfeld* mit (inter-)nationalem oder regionalem Fokus und das *administrative Entscheidungsfeld* mit sektorialem oder Projektfokus.

Während im administrativen Entscheidungsfeld konkrete Anpassungsmaßnahmen oder deren unterschiedliche Umsetzungsmöglichkeiten als Handlungsalternativen zur Auswahl stehen, sind es im politischen Entscheidungsfeld übergeordnete politische Instrumente. Wie in Abschnitt 8.3 beschrieben, kann auf politischer Ebene zwischen weitreichenden Instrumenten wie zum Beispiel Geboten, Verboten oder Subventionen ausgewählt werden. Auch wenn die Bereitstellung von öffentlichen Anpassungsgütern politisch beschlossen wird, findet die konkrete Umsetzung dennoch auf administrativer Ebene statt.

Das politische Entscheidungsergebnis ist entweder die Gewährung eines bestimmten zweckgebundenen Budgets für untergeordnete administrative Stellen oder die Verabschiedung von

Gesetzen. Die Budgetvergabe kann dabei auch im Rahmen von Strategien oder Aktionsplänen erfolgen, wie zum Beispiel im Aktionsplan Anpassung geschehen. Das administrative Entscheidungsergebnis betrifft hingegen die Umsetzung der politischen Vorgaben oder die Wahrnehmung von zuvor festgelegten Verantwortlichkeiten mittels konkreter Anpassungsmaßnahmen innerhalb des gegebenen Budgets und Zuständigkeitsbereiches.

Wegen der thematischen Fokussierung der administrativen Entscheidungsträger sind die relevanten Alternativen im administrativen Entscheidungsfeld tendenziell homogener als im politischen Entscheidungsfeld. Je nach administrativem Zuständigkeitsbereich ähneln sich die verfügbaren Anpassungsmaßnahmen, was gleichzeitig bedeutet, dass sie hinsichtlich ihrer Eignung zur Zielerfüllung einfacher zu vergleichen sind. Zum Beispiel sind die verfügbaren Maßnahmen der Landestalsperrenverwaltung in Sachsen zum klimaangepassten Hochwasserschutz mit Deichen, Polderflächen und Schutzmauern allesamt technisch. Dem Landeshochwasserzentrum stehen für das gleiche Ziel, einen besseren Schutz vor Hochwasserereignissen, verschiedene Informationsbereitstellungsalternativen zur Auswahl. Im politischen Entscheidungsfeld sind die Wirkungsbereiche der zur Auswahl stehenden Instrumente hingegen sehr unterschiedlich, welches die Vergleichbarkeit ihrer Ergebnisse erschwert. So sind zum Beispiel regulatorische Gesetzesänderungen in ihrer Wirkung nur schwer mit Budgetbereitstellung für Forschungsvorhaben zu vergleichen. Zwar kann in solchen Fällen theoretisch mittels einer monetären Bewertung der Kosten und Nutzen ein gemeinsamer Nenner dieser Maßnahmen gefunden werden. Jedoch ist eine solche Bewertung bei Instrumenten mit einem so großen Wirkungsfeld erwartungsgemäß mit einem sehr hohem Aufwand und hoher Ungenauigkeit verbunden, sodass eventuell auf qualitative Einschätzungen zurückgegriffen werden muss. Verstärkt wird diese Schwierigkeit durch die hohe Anzahl an Alternativen im politischen Bereich, die bedingt ist durch die Themenvielfalt, und eine Verwendung von detaillierten quantitativen Daten impraktikabel macht. Zudem spielen im politischen Entscheidungsfeld eventuell Entscheidungskriterien wie distributive Gerechtigkeit verstärkt eine Rolle; diese können nur qualitativ eingeschätzt werden. Es ist also damit zu rechnen, dass im politischen Entscheidungsfeld vermehrt auf aggregierte Informationen und qualitative Einschätzungen zurückgegriffen wird, während bei der administrativen Entscheidungsfindung durchaus auch detaillierte und quantitative Informationen Verwendung finden können.

Der Übergang zwischen diesen zwei Entscheidungsfeldern ist fließend. Situationen, in denen politische Entscheidungen mit sektorialem Fokus getroffen werden, sind durchaus denkbar. So treten in besonderen Fällen einzelne Handlungsbereiche in den Vordergrund und werden in der Politik gesondert behandelt. Dies ist zum Beispiel bei Umweltkatastrophen (z. B. Hochwasserschutz oder Versicherungspflicht) des öfteren der Fall. Auf kommunaler Ebene sind auch einzelne Investitionsprojekte oft ein politisches Thema, jedoch haben diese Entscheidungen selten einen rein sektoralen Fokus, sondern entstehen unter Berücksichtigung vieler lokalpolitisch relevanter Aspekte. Andersherum sind sicherlich nicht alle administrativen Entscheidungen strikt auf einen Handlungsbereich beschränkt und berücksichtigen optimalerweise auch Synergien

und Konflikte mit anderen Bereichen. Schließlich gibt es Koordinationsmechanismen, wie zum Beispiel interministerielle Arbeitsgruppen oder Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaften, die versuchen, eben diese strikten Trennungen zu überwinden.

Grundsätzlich ist es hilfreich, diese zwei Entscheidungsfelder zu definieren und in der staatlichen Klimawandelanpassung zu verorten, da sich die Entscheidungssituationen in den zwei Feldern sehr unterscheiden. Aus diesem Grund sind je nach Entscheidungsfeld auch unterschiedliche Anforderungen an die zu Hilfe zu nehmenden Entscheidungsmethoden zu stellen. Durch die Abgrenzung wird es einfacher, die Eignung der verfügbaren Entscheidungsmethoden zu untersuchen. Für die Entscheidungsunterstützung der Anpassungspolitik wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit somit lediglich das *politische Entscheidungsfeld* betrachtet.

16. Kriterien zur Bewertung von Anpassungsinstrumenten

Als nächstes gilt es zu untersuchen, anhand welcher Kriterien politische Anpassungsmaßnahmen mittels Entscheidungsmethoden ausgewählt werden sollen. Aus der Aufstellung der normativen Anforderungen an die Anpassungspolitik in Teil II deutet sich bereits an, dass nicht nur Effizienzkennzahlen wie Kosten oder Nutzen bei der Auswahl der Anpassungsmaßnahmen eine Rolle spielen sollten. Es gilt zudem Aspekte wie Verteilungsgerechtigkeit, Versorgungssicherheit und Risiko zu berücksichtigen. Dies wird im Folgenden genauer diskutiert.

16.1. Kosten

Wie bei jeder ökonomischen Entscheidung spielen auch in der Anpassungspolitik Kosten eine Rolle. Die direkten Kosten von konkreten Anpassungsmaßnahmen sind relativ einfach ermittelbar und in Geldeinheiten messbar. Sie fallen bei der Umsetzung der Maßnahmen selbst an und können in Form von Kostenvoranschlägen der beteiligten Akteure abgefragt werden. Diese Kennzahl unterliegt lediglich einer gewissen planerischen Unsicherheit. Je unspezifischer jedoch eine Anpassungsmaßnahme ist desto schwieriger gestaltet es sich ihre Kosten zu ermitteln. Die „Anpassung öffentlicher, bundeseigener Infrastrukturen“ im Aktionsplan Anpassung (Maßnahme B.3.4; Bundesregierung, 2011) ist zum Beispiel so umfassend, dass eine detaillierte Berechnung der Kosten sehr aufwendig und zeitintensiv sein dürfte. In solchen Fällen kann sich auch mit groben Schätzungen oder Bewertungen anhand einer Skala beholfen werden (zum Beispiel: Kosten auf einer Skala von eins bis zehn). Der Aufwandsvermeidung steht dann jedoch ein erheblicher Präzisionsverlust bei der Bewertung entgegen. Aus ökonomischer Perspektive wäre anzuraten, vor Bewertung der Maßnahmen eine möglichst präzise Differenzierung der Handlungsalternativen vorzunehmen, was eine umfangreiche Vorarbeit erfordert, jedoch im Sinne des Effizienzgedankens vorzuziehen wäre. Letztendlich gilt es eine praktikable Abwägung zwischen Präzision und Aufwand zu finden.

Indirekte Kosten von Anpassungsmaßnahmen sind noch schwieriger zu bewerten. So zählt zum Beispiel der Verzicht auf Ernteerträge zu den Opportunitätskosten der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen als Rückhaltebecken für den Hochwasserschutz. Auch negative Auswirkungen oder Externalitäten der Maßnahmen zählen ökonomisch gesehen zu den gesamtwirtschaftlichen Kosten, die es zu berücksichtigen gilt. Besonders schwer zu beurteilen sind

dabei die nicht unmittelbar monetarisierbaren Effekte. Die negativen Auswirkungen einer innerstädtischen Hochwasserschutzwand auf das Stadtbild zum Beispiel lassen sich zwar über Einnahmeausfälle der örtlichen Geschäfte approximieren, stellen jedoch sicherlich nicht alle empfundenen Kosten einer solchen Maßnahme dar. Auch die monetäre Bewertung von Auswirkungen auf die Biodiversität und die ökologischen Systemdienstleistungen stellen sich in diesem Zusammenhang als schwierig dar.

16.2. Nutzen

Während die Kosten einer Anpassungsmaßnahme zumeist zeitnah anfallen, wird der Nutzen von Anpassung oftmals erst über längere Zeiträume erkennbar. Der Nutzen ist sowohl von der Wirksamkeit der Maßnahmen als auch von der zukünftigen Klimaentwicklung abhängig. Zudem ist aus staatlicher Perspektive das Ausmaß der zukünftigen autonomen Anpassung relevant, welche ebenso die vermeidbaren Schäden und somit die Wirksamkeit staatlicher Maßnahmen beeinflusst. Alle Faktoren sind mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Ein Beispiel für die Wirkung autonomer Anpassung auf die Bewertung staatlicher Anpassungsmaßnahmen ist die regelmäßige privat-unternehmerische Weiterentwicklung von Kulturpflanzensorten. Mit dem Ziel der Ertragssteigerung werden klimatische Entwicklungen kontinuierlich mitberücksichtigt, somit vermindert sich gegebenenfalls das Nutzenpotential staatlicher Maßnahmen in diesem Bereich. Bei einer Bewertung staatlicher Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft gilt es somit diese zukünftige Entwicklung richtig einzuschätzen.¹

Auch Synergien mit anderen Zielen stellen, gesamtwirtschaftlich gesehen, Nutzen dar und sollten mitberücksichtigt werden. So haben zum Beispiel Baunormen zur hitzeresistenten Häuserdämmung durch die erhöhte Energieeffizienz gleichzeitig positive Effekte für den Klimaschutz.

Rein aus der Effizienzperspektive ist der Effekt einer Anpassungsmaßnahme auf die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt positiv, wenn ihr Grenznutzen die Grenzkosten übersteigt, also wenn der zusätzliche Nettonutzen positiv ist. Nutzen und Kosten können jedoch schwer gegeneinander aufgewogen werden, wenn sie nicht in gleichen Einheiten, zum Beispiel Geldeinheiten, gemessen werden. Besonders der Nutzen ist dabei schwer zu monetarisieren, da er gegebenenfalls unter vielen Vorteileempfängern und mit zeitlicher Verteilung anfällt. Zudem ist der Nutzen selbst aufgrund der zuvor genannten Gründe (Klimaentwicklung, Wirksamkeit, autonome Anpassung) höchst ungewiss. Außerdem werden manche Maßnahmen nicht nur aus Anpassungsgesichtspunkten veranlasst, so wie zum Beispiel Frischluftschneisen in Städten, die nicht nur vor Hitzeinseln schützen, sondern auch das Stadtbild aufwerten und somit die Attraktivität für Unternehmen und Bewohner steigern. Bei solchen nicht reinen Anpassungsmaßnahmen müssen Nutzeneffekte aus vielen Anwendungsbereichen quantifiziert werden.

¹ In Fällen von autonom optimaler Anpassung ohne Marktversagen, Ungerechtigkeit oder Gefährdung der Versorgungssicherheit ist von vornherein von staatlichen Eingriffen abzusehen.

16.3. Distributive Fairness

Neben Kosten und Nutzen kann auch im Sinne der Verteilungsgerechtigkeit die Verteilung der aus einer Anpassungsmaßnahme resultierenden Nutzen ein zu bewertendes Kriterium darstellen. Während das Konzept horizontaler und vertikaler Verteilungsgerechtigkeit nach Atkinson & Stiglitz (1980) in einer theoretischen Betrachtung durchaus nützlich ist (siehe Kapitel 6.2), ist das psychologische Fairnesskonzept für die konkrete Bewertung von Maßnahmen praktikabler und wird deshalb an dieser Stelle angeführt.

Der Begriff „distributive Fairness“ stammt aus der Sozialpsychologie, in der Fairness wie folgt definiert wird: „Fairness bezeichnet die Gerechtigkeit der Verteilung von Belohnungen zwischen Individuen oder Gruppen und die Verfahren zu ihrer Herstellung“ (Bierhoff, 2006, S. 141).² Die „Belohnung“ ist im Kontext der Klimaanpassung der Nutzen aus der Umsetzung einer Anpassungsmaßnahme. Will man nun die „Gerechtigkeit der Verteilung“ in die anpassungspolitische Entscheidungsfindung miteinfließen lassen, dann gilt es die Verteilung dieser Nutzen unter den beteiligten Akteuren oder innerhalb der gesamten Gesellschaft zu bewerten. Die Bewertung der distributiven Fairness orientiert sich dabei an einer erwünschten „Aufteilungsregel“ (ebd.).

Eine denkbare Aufteilungsregel wäre: Nutzen nach Leistung. Leistung könnte zum Beispiel anhand der Kostenbeteiligung an der Anpassungsmaßnahme festgemacht werden. Die distributive Fairness einer Maßnahme wäre in diesem Fall am höchsten, wenn ihre Kosten proportional zu ihrem Nutzen auf die Stakeholder verteilt würden.³ Je ungleichmäßiger die Nutzen jedoch auf wenige Nutzer bei gleicher Kostenbeteiligung aller Steuerzahler verteilt sind, desto geringer ist die distributive Fairness. Eine andere Aufteilungsregel wäre: Nutzen nach Betroffenheit durch die Auswirkungen des Klimawandels oder nach Vulnerabilität. Diese Aufteilungsregel entspricht im Grunde dem Konzept der horizontalen Gerechtigkeit. Eine weitere Aufteilungsregel könnte sein: Nutzen nach Einkommen. Je größer der Nutzen für Geringverdiener desto größer die distributive Fairness. Diese Aufteilungsregel hat den größten Umverteilungseffekt und trägt ähnlich zur Rawls' Maximin Regel zur vertikalen Verteilungsgerechtigkeit bei. Diese drei Aufteilungsregeln haben sehr unterschiedliche Implikationen. Mangels eines ökonomisch etablierten Konzeptes zu Gerechtigkeit, muss die Auswahl der Aufteilungsregel und deren Bewertung dem politischen Prozess überlassen werden.⁴

Die „distributive Fairness“ verhält sich insgesamt zum Begriff der „Verteilungsgerechtigkeit“ aus Kapitel 6.2 wie folgt: Verteilungsungerechtigkeit in einem spezifischen Handlungsfeld der

² Nach Bierhoff (2006) kann man grundsätzlich zwischen distributiver, prozeduraler und interaktionaler Fairness unterscheiden. Prozedurale Fairness bezieht sich auf das Verfahren, auf dessen Grundlage eine Verteilung zu Stande kommt, und interaktionale Fairness auf den Umgang und die Kommunikation zwischen den Beteiligten. Diese Konzepte werden später für die Bewertung der Entscheidungsmethoden in Kapitel 17.1.6 herangezogen.

³ Man beachte, dass aus utilitaristischer Sicht in diesem Fall die gesamtwirtschaftliche vertikale Verteilungsgerechtigkeit von der Maßnahme unbeeinflusst bleibt.

⁴ Auch der politische Prozess unterliegt wiederum dem Anspruch von prozeduraler und interaktionaler Fairness (siehe Kapitel 17.1.6).

Anpassungspolitik ist ein legitimer Grund für einen prozesspolitischen staatlichen Eingriff in das Marktgeschehen und somit eine vorangestellte hinreichende Bedingung für die Berücksichtigung einer Maßnahme als Handlungsalternative. Distributive Fairness hingegen ist ein Kriterium zur Bewertung all dieser zur Auswahl stehenden Maßnahmen. Somit können auch nicht primär auf Gerechtigkeit abzielende Maßnahmen auf ihre distributive Wirkung hin überprüft werden, die durchaus auch negativ sein kann. Andererseits können durch Beachtung dieses Kriteriums redistributive Maßnahmen in einer Auswahlprozedur bestehen, welche aus rein ökonomischer Sicht nicht rentabel erscheinen.

16.4. Robustheit der Maßnahme

Auch das Risiko der jeweiligen Alternative stellt bei der Auswahl von Klimaanpassungsmaßnahmen ein weiteres relevantes Kriterium dar. Die Unsicherheit oder Ungewissheit bezüglich der zukünftigen Effekte (Nutzen, Kosten, Verteilungswirkung) beeinflusst die Attraktivität einer Maßnahme. Ein risikoaverser Akteur wird von zwei Alternativen mit gleichem Erwartungsnutzen diejenige bevorzugen, die die geringere Streuung der Zahlungen aufweist, also ein geringes Risiko hat. In der wissenschaftlichen Anpassungsliteratur wird oft der Begriff Robustheit verwendet, der diese Überlegung impliziert. Lempert & Schlesinger (2000) sprechen von robusten Klimaanpassungsstrategien, wenn diese „insensitiv“ in Bezug auf Unsicherheiten sind. Lempert & Collins (2007) verwenden den Begriff im Sinne von „Sensitivität auf verletzte Annahmen“ und sehen einen Trade-Off zwischen Robustheit und optimaler Performance. Robustheit beschreibt also die Insensitivität der Maßnahmen gegenüber unsicheren Annahmen. Ökonomisch gesprochen, kann mit Robustheit also der Risikoaversion der politischen Entscheidungsträger Rechnung getragen werden, indem die Streuung der Nettonutzen vermindert wird, oft auf Kosten eines geringeren Erwartungsnettonutzens.⁵

Hallegatte (2009) schlägt sechs praktische Lösungen vor, um die Robustheit von Klimaanpassungsstrategien unter Unsicherheit zu erhöhen: No-Regret-Maßnahmen, reversible Maßnahmen, Sicherheitsspannen, „Sanfte“ Maßnahmen, Zeithorizontverkürzung, Konflikt- und Synergiebetrachtung. Folgende Aspekte lassen sich dabei auch gut als Kriterien zur Bewertung von Robustheit der Anpassungsentscheidungen verwenden.

Eine *No-Regret*-Maßnahme stiftet sogar beim Ausbleiben des Klimawandels Nutzen, welches die Robustheit von Klimaanpassung bei unsicherer Klimaentwicklung erhöht. Ein Beispiel sind (Climate-Proofing-)Normen zur Isolierung von Gebäuden, die nicht nur vor potentieller zukünftiger Hitze schützen, sondern sich auch durch Energieeinsparungen über das ganze Jahr rentieren können.

Reversibilität oder *Flexibilität* bezeichnen die Umkehrbarkeit und Anpassungsfähigkeit der

⁵ In der Literatur wird der Begriff Robustheit zumeist in Verbindung mit geringen negativen Nettonutzen verwendet (z. B. No-Regret). Somit wird besonders auf den unteren Teil der Verteilung abgezielt, während unerwartete positive Nettonutzen nicht adressiert werden, obwohl auch sie ökonomisch gesehen eine Unsicherheit darstellen.

Maßnahmen an zukünftige Umstände im Sinne von geringen Anpassungskosten (Hallegatte, 2009). Restriktive Bebauungsgenehmigungen können ohne nennenswerte Kosten rückgängig gemacht werden. Anders herum jedoch ist bei einmal genehmigter Bebauung die Reversibilität sehr gering. Eine flexible Anpassungsmaßnahme sollte unter verschiedenen Klimabedingungen funktionieren (Smith, 1997). Ein Beispiel für Flexibilität wären erhöhbare Hochwasserschutzmauern oder Küstenschutz, der an den steigenden Meeresspiegel anpassbar ist.

Maßnahmen mit *Sicherheitsspannen* können über die erwartete Wirkung des Klimawandels hinaus schützen und damit die Robustheit erhöhen. So können Deiche zum Beispiel um eine grobe zusätzliche Sicherheitsspanne größer gebaut werden, um der Unsicherheit der Klimaentwicklung Rechnung zu tragen. Zu bewerten wäre also, ob die variablen Kosten im Vergleich zu den fixen Kosten gering ausfallen, und somit Sicherheitsspannen rentabel machen.

Maßnahmen mit einem kürzeren *Zeithorizont* lassen sich mit jeder Erneuerung neu ausrichten und können somit geringere Kosten in Bezug auf Unsicherheiten aufweisen (Hallegatte, 2009). Zum Beispiel lassen sich schnell wachsende Baumarten nach dem Schlagen durch andere Sorten ersetzen. Es bleibt jedoch zwischen den Kosten der Unsicherheit und denen der nötigen Re-Investition aufgrund kürzerer Lebensdauer abzuwägen.

17. Anforderungen an Entscheidungsmethoden

Sollen Entscheidungsmethoden bei der staatlichen Klimaanpassung zum Einsatz kommen, dann stellen sich in diesem Anwendungsbereich mitunter spezielle Anforderungen. Ziel dieses Kapitels ist es, relevante Anforderungen zu ermitteln und systematisch darzustellen, damit sie dann für die Bewertung der verfügbaren Entscheidungsmethoden in Kapitel 18 herangezogen werden können. Dabei wird über die rein ökonomisch normative Betrachtung hinausgegangen.

In Anlehnung an die unterschiedlichen Entscheidungsfelder der staatlichen Anpassung lassen sich diese Anforderungen in allgemeine Anforderungen (Kapitel 17.1), politikbetonte Anforderungen (Kapitel 17.2) und praxisbetonte Anforderungen (Kapitel 17.3) untergliedern. Die allgemeinen Anforderungen betreffen das politische und das administrative Entscheidungsfeld gleichermaßen.¹ Sie beruhen größtenteils auf den bereits beschriebenen Eigenheiten und Problemen staatlicher Anpassungsentscheidungen aus ökonomischer Perspektive, ziehen aber auch Erkenntnisse aus der Sozialpsychologie zur Akzeptanz von Entscheidungsprozessen hinzu. Die politikbetonten Anforderungen berücksichtigen Eigenheiten der Entscheidungen im politischen Entscheidungsfeld. Die praxisbetonten Anforderungen ergeben sich aus den zu erwartenden Hindernissen bei der faktischen Benutzung der Entscheidungsmethoden, die vor allem im administrativen Entscheidungsfeld zu erwarten sind. Tabelle 17.1 fasst die einzelnen Anforderungen und ihre Merkmale zusammen.

17.1. Allgemeine Anforderungen

Die in diesem Abschnitt dargestellten Anforderungen werden als „allgemein“ bezeichnet, da sie sowohl für das politische als auch für das administrative Entscheidungsfeld von ähnlicher Bedeutung sind. Die ersten beiden Anforderungen an die Entscheidungsmethoden basieren auf den Erkenntnissen der Verhaltensökonomik und Neuen Politischen Ökonomie zu potentiellen Barrieren optimaler staatlicher Anpassung (siehe Kapitel 6.1.5 und 6.1.6). Diesen Barrieren soll durch die Verwendung einer Entscheidungsmethode entgegenwirkt werden. In Einklang mit den vorgeschlagenen Verbesserungen für die deutsche Anpassungspolitik in Kapitel 12, sind deshalb die eine *rationalisierende Wirkung* und *Eignung zum Monitoring* der Entschei-

¹ Siehe Kapitel 15.2 für die Definition dieser beiden Entscheidungsfelder.

Tabelle 17.1.: Anforderungen an Entscheidungsmethoden

Anforderung	Merkmale
Allgemeine Anforderungen	
Rationalisierende Wirkung	Vermeidung von: <ol style="list-style-type: none"> 1. hyperbolischer Diskontierung 2. Entscheidungsheuristiken (Ankerheuristik, Verfügbarkeitsheuristik) 3. Entscheidungsverzerrungen (Gewinnoptimismus, Framing, eskalierendes Commitment)
Eignung zum Monitoring	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erschwerung der Einflussnahme von Eigeninteressen 2. Ergebnis nutzbar als transparente Kontrollkennzahl
Anwendbarkeit unter Unsicherheit	
Eignung zur Priorisierung	Lösung der Rangfolgenproblematik
Anwendbarkeit bei weiteren Entscheidungsproblematiken	Lösung folgender Problematiken <ol style="list-style-type: none"> 1. Auswahlproblematik 2. Sortierungsproblematik 3. Portfolioproblematik
Prozedurale Fairness	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsistenz 2. Unvoreingenommenheit 3. Korrigierbarkeit 4. Genauigkeit 5. Repräsentativität
Interaktionale Fairness	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bereitstellung notwendiger Informationen: Eingaben und Bewertungen 2. klare Mitteilung der bestehenden Erwartungen: Kriterien und Gewichtungen
Ergebnisrobustheit	Überprüfbarkeit des Ergebnisses auf Robustheit
Politikbetonte Anforderungen	
Informationelle Kompatibilität	Berücksichtigung aller relevanten Informationen möglich (quantitativ und qualitativ)
Informationelle Flexibilität	Flexible Kriterienwahl
Bedienung politischer Interessen	<ol style="list-style-type: none"> 1. „Optimalität“ des Ergebnisses 2. Genug diskretionäre Spielräume
Praxisbetonte Anforderungen	
Verständlichkeit	Einfachheit der Funktionsweise
Implementierungsleichtigkeit	Geringer Zeit- und Geldaufwand zur Benutzung
Partizipationsfähigkeit	Stakeholder-Partizipation möglich

dungsmethoden erwünscht. Aufgrund der in Kapitel 14.1 beschriebenen vielfältigen Unsicherheiten bezüglich der staatlichen Entscheidungen im Anpassungsbereich ist die *Anwendbarkeit unter Unsicherheit* eine weitere Anforderung. Außerdem wird die Lösbarkeit der in Kapitel 15.1 identifizierten *Entscheidungsproblematiken* gefordert. Zur Steigerung der Akzeptanz der Entscheidungen in der Bevölkerung ist laut Erkenntnissen der Sozialpsychologie die *prozedurale und interaktionale Fairness* im Entscheidungsprozess nötig. Schließlich wird die Anforderung nach einem *robusten Ergebnis* hinzugefügt.

17.1.1. Rationalisierende Wirkung

Zunächst sollte die Entscheidungsmethode die *Rationalität* des Entscheidungsprozesses steigern. Dafür muss die jeweilige Entscheidungsmethode Ineffizienzen bei der staatlichen Entscheidungsfindung verringern, die durch bekannte Verhaltensbarrieren verursacht werden (siehe Kapitel 6.1.5). Die Komplexität des Entscheidungsproblems sollte für die Entscheidungsträger handhabbar gemacht werden und analytisch reflektierendes Denken fördern, um Effekte kognitiver Begrenztheit zu vermeiden. Der Einsatz der Methode sollte dabei möglichst der Neigung der Entscheidenden zu hyperbolischer Diskontierung, kognitiven Entscheidungsheuristiken wie der Ankerheuristik oder Verfügbarkeitsheuristik und Verzerrungen wie Gewinnoptimismus, Selbstüberschätzung oder eskalierendem Commitment entgegenwirken.

17.1.2. Eignung zum Monitoring

Die Beeinflussung staatlicher Entscheidungen durch private Interessen der politischen Entscheider, Interessensgruppen oder ausführenden Bürokraten können auch im Anpassungsbereich zu Staatsversagen führen (siehe Kapitel 6.1.6 zu politökonomischen Barrieren). Daher sollten Entscheidungsmethoden jegliche Verzerrung der Entscheidung durch private Interessen erschweren. Allein die Strukturierung und Offenlegung des Entscheidungsprozesses, sowie die Verwendung von objektiven Entscheidungskriterien erschweren eine solche Einflussnahme in der Regel. Was jedoch nicht heißt, dass eine Einflussnahme, sei sie öffentlich oder heimlich, unter Verwendung von Entscheidungsmethoden nicht möglich ist. Die Entscheidungsmethoden unterscheiden sich hinsichtlich der Möglichkeiten zur indirekten Einflussnahme.

Konkret sollten sich Eingaben, Bewertungen, Entscheidungsregeln und Ergebnisse zur Verwendung für ein *Monitoring* des Anpassungspolitik eignen, welches vor unberechtigter Einflussnahme abschrecken und gleichzeitig die Optimalität der staatlichen Anpassung überprüfen soll. Damit einher geht eine Offenlegung der Entscheidungsgrundlage, also aller verwendeten Informationen, Eingaben, Bewertungen, Entscheidungsregeln und Ergebnisse. Diese sollten möglichst transparent und überprüfbar sein, was je nach Komplexität der Methode variiert. Optimalerweise ließe sich die Qualität der anpassungspolitischen Entscheidungen anhand einer transparenten Kontrollkennzahl überprüfen.

17.1.3. Anwendbarkeit bei Unsicherheit oder Ungewissheit

Besonders wichtig im Bereich der Klimawandelanpassung ist, dass die Entscheidungsmethode bei Unsicherheit oder Ungewissheit anwendbar ist. Eine Entscheidungsmethode ist unter Unsicherheit anwendbar, wenn sie unter Verwendung von Eintrittswahrscheinlichkeiten das Risiko bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Im Falle von Ungewissheit sollte die Methode sogar ohne konkrete Wahrscheinlichkeiten diesen Aspekt erfassen können. Berücksichtigt eine Methode die Unsicherheit nicht, dann läuft sie Gefahr, diesen wichtigen Aspekt der Klimaanpassung auszulassen, was ebenfalls zu Fehlanpassung führen könnte.

17.1.4. Eignung zur Priorisierung

Eine weitere Anforderung ist, dass sich mit der Entscheidungsmethode die Rangfolgenproblematik aus Kapitel 15.1 lösen lässt. Auf die Lösung dieser Problematik, die einer Priorisierung der umzusetzenden Maßnahmen bedarf, wird in der deutschen Anpassungspolitik derzeit im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie besonderes Gewicht gelegt (Vetter & Schauser, 2013). Eine Priorisierung ist nötig, da bei begrenzten Ressourcen nicht allen Auswirkungen des Klimawandels gleichzeitig entgegengewirkt werden kann. Dies gilt sowohl für das politische als auch für das administrative Entscheidungsfeld. Eine so berechnete Rangfolge umzusetzender Maßnahmen kann als Anpassungspfad interpretiert werden, bei dem die Anpassungsmaßnahmen sukzessive beginnend mit der vorteilhaftesten umgesetzt werden. Die Priorisierung kann auch zu späteren Zeitpunkten wiederholt werden, um dann wieder ressourcenbedingt nicht umgesetzte und neu verfügbare Maßnahmen zu vergleichen.

17.1.5. Anwendbarkeit bei weiteren Entscheidungsproblematiken

Da bei der staatlichen Anpassung aber auch theoretisch mehrere andere Entscheidungsproblematiken auftreten können, sind Methoden im Vorteil, die auch zur Lösung anderer Problematiken verwendet werden können. Aus den in Kapitel 15.1 vorgestellten restlichen möglichen Entscheidungsproblematiken werden folgende ausgewählt:

- Auswahlproblematik
- Sortierungsproblematik
- Portfolioproblematik

Wie bereits von Belton & Stewart (2002) angemerkt, ist die Beschreibungsproblematik ein Teil oder eine Vorstufe der anderen Problematiken. Daher wird mit der Untersuchung der Entscheidungsmethoden auf die Lösung dieser Problematik abgezielt. Die von Belton & Stewart (2002) zusätzlich angeführte Designproblematik wird ebenfalls nicht in die Anforderungsliste aufgenommen, da sich die in dieser Arbeit untersuchten ökonomischen Entscheidungsmethoden grundsätzlich kaum zur Lösung dieser Problematik eignen.

17.1.6. Prozedurale Fairness

Prozedurale Fairness ist eine zusätzliche allgemeine Anforderung, die an eine Entscheidungsmethode gestellt werden kann. Während distributive Fairness sich auf das Ergebnis des Verteilungsprozesses bezieht, beschreibt prozedurale Fairness die Merkmale eines fairen Entscheidungsprozesses, in anderen Worten also Verfahrensgerechtigkeit.² Die sozialpsychologische Forschung kommt vorwiegend zu dem Schluss, dass ein fairer Entscheidungsprozess maßgeblich zur *Akzeptanz* einer Entscheidung durch autoritäre Dritte (z. B. politische oder administrative Entscheidungsträger) oder innerhalb einer Gruppe beiträgt (für einen Überblick siehe Tyler & Blader, 2013, S. 74). Die prozedurale Fairness eines Entscheidungsprozesses steigert also auf individueller Ebene die Akzeptanz einer Entscheidung. Das heißt, wenn das Vorgehen bei der Entscheidungsfindung einen fairen Eindruck macht, wird das Entscheidungsergebnis von den betroffenen Individuen eher akzeptiert als bei einem unfairen Entscheidungsprozess, selbst wenn das Ergebnis zum eigenen Nachteil ausfällt.³

Prozedurale Fairness erhöht die Befürwortung politischer Entscheidungen und die positive Bewertung von Autorität durch die Bevölkerung (Leung et al., 2007).⁴ Dabei spielt Akzeptanz im politischen Entscheidungsfeld vorwiegend im Hinblick auf die Wiederwahlwahrscheinlichkeit eine Rolle, während im administrativen Entscheidungsfeld die Akzeptanz einer Entscheidung in der Bevölkerung maßgeblich die Umsetzbarkeit der beschlossenen Maßnahme beeinflusst.

Sechs Anforderungen von prozeduraler Fairness nach Leventhal (1980)⁵ eignen sich gut für die Bewertung der prozeduralen Fairness von Entscheidungsmethoden:

- *Konsistenz* der Regelanwendung,
- *Unvoreingenommenheit* der entscheidenden Personen,
- *Korrigierbarkeit* von Entscheidungen, die sich als fehlerhaft erweisen,
- *Genauigkeit* im Sinne der Nutzung relevanter Informationen und der Vermeidung von fehlerhaften Vorannahmen,
- *Repräsentativität* im Sinne der Einbeziehung der Interessen aller Betroffenen.

Diese Merkmale prozeduraler Fairness im interpersonellen Bereich lassen sich wie folgt auf Entscheidungsmethoden für die staatliche Anpassung übertragen.

² Der Begriff “prozedurale Fairness” wurde ursprünglich durch die experimentellen psychologischen Untersuchungen von Thibaut et al. (1975) und Lind & Tyler (1988) geprägt. Diese fanden einen Zusammenhang zwischen fairen Entscheidungsverfahren und Akzeptanz der Resultate.

³ Die sozialpsychologische Literatur, auf welche sich diese Aussage bezieht, hat hierbei vorwiegend interpersonelle Konflikte betrachtet.

⁴ Leung et al. (2007) zeigen jedoch auch, dass, wenn die Konsequenzen einer politischen Entscheidung alle Bürger gleichermaßen betreffen, der relationale Aspekt an Bedeutung verliert. Dann wird die kollektive Vorteilhaftigkeit einer Entscheidung wichtiger für die Befürwortung, als die prozedurale Fairness. Für die Bewertung von Autorität jedoch ist auch in diesem Falle prozedurale Fairness von größerer Bedeutung.

⁵ Die deutsche Übersetzung hat sich orientiert an Bierhoff (2006, S. 162).

Die Konsistenz der Regelanwendung ist als Widerspruchslosigkeit der Methoden interpretierbar. Dabei ist nicht die logische Konsistenz entscheidend, sondern die Wirkung der Methode auf die Stakeholder, die möglichst keine kognitive Dissonanz auslösen sollte.

Da die Entscheidungsmethode die Entscheidung durch Personen ersetzt, beeinflusst - anders als im interpersonellen Bereich - die Unvoreingenommenheit der verwendeten Eingaben und Bewertungen die prozedurale Fairness.⁶ Die Bewertungen sollten daher von unabhängigen Analysten oder Forschern eingeholt werden. Aber auch die Auswahl der Alternativen, Kriterien und Gewichtungen sollte möglichst neutral oder zumindest Teil eines stakeholderbeteiligten Prozesses sein. Inwiefern dies je nach Methode möglich ist, gilt es zu prüfen.

Die Korrigierbarkeit der Entscheidungen fällt nicht in den Einflussbereich der Entscheidungsmethoden, aber die Korrigierbarkeit der Eingaben und Bewertungen sollte dennoch leicht fallen, um einen fairen Entscheidungsprozess zu gewährleisten. Das größte Hemmnis bei der Korrektur falscher Eingaben ist der Aufwand. Es hängt von der Entscheidungsmethode ab, ob einzelne Eingaben korrigiert werden können oder ob eine erneute Durchführung der kompletten Bewertung vorgenommen werden muss.

Die Genauigkeit der Methoden fällt in gewissem Maße mit der Forderung nach informationeller Kompatibilität in Abschnitt 17.2.1 zusammen, denn die Genauigkeit einer Methode geht einher mit der Berücksichtigung aller relevanten Kriterien und Informationen. Eine höhere Anzahl berücksichtigter Kriterien erhöht die wahrgenommene Fairness, aber auch der Detailgrad der Bewertungen spielt für die prozedurale Fairness eine Rolle.

Die Repräsentativität der Methode kann erhöht werden, indem Bewertungen verschiedener Stakeholder miteinbezogen werden (dazu mehr in Abschnitt 17.3.3). Aber auch schon die Berücksichtigung mehrerer Perspektiven bei der Auswahl der Kriterien und Bewertungen kann die wahrgenommene prozedurale Fairness erhöhen.

17.1.7. Interaktionale Fairness

Weiterhin ist die *interaktionale Fairness* einer Entscheidungsmethode von Bedeutung. *Interaktionale Fairness* lässt sich in interpersonale und informationale Fairness unterteilen und bezieht sich auf den Umgang und die Kommunikation zwischen den am Entscheidungsprozess beteiligten Akteuren. Bierhoff (2006) führt folgende Anforderungen interaktionaler Fairness auf:⁷

- *Bereitstellung notwendiger Informationen,*
- *klare Mitteilung der bestehenden Erwartungen,*
- *Beachtung von Rollenvorschriften,*

⁶ Die Unvoreingenommenheit der Entscheidungsmethode an sich ist in jedem Fall gegeben.

⁷ Diese basieren auf den inhaltsanalytischen Ergebnissen einer Befragung von Führungskräften von Sheppard & Lewicki (1987) aus denen sie 16 Fairnessregeln der Geschäftsführung ableiten. Sheppard & Lewicki (1987) beschreiben die Anwendbarkeit dieser Regeln in einem breiteren Kontext.

- *Einhaltung der Organisationsstruktur.*

Diese Regeln lassen sich auch als Anforderungen für die Entscheidungsprozesse bei der Klimaanpassung verwenden. Da jedoch Rollenvorschriften und die Organisationsstruktur nicht Bestandteil der untersuchten Entscheidungsmethoden sind, werden lediglich die ersten beiden Anforderungen interaktionaler Fairness geprüft.

Die bei der Entscheidungsmethode verwendeten Informationen sollten der Bevölkerung bereitgestellt werden, sodass die getroffene Entscheidung nachvollziehbar ist. Dabei entscheidet die Verständlichkeit und Vermittelbarkeit dieser Informationen über die wahrgenommene interaktionale Fairness einer Entscheidungsmethode.

Die klare Mitteilung der bestehenden Erwartungen entspricht in diesem Falle einer klaren Vermittlung der Entscheidungskriterien oder deren Gewichtungen.

17.1.8. Ergebnisrobustheit

Letztlich sollte die verwendete Entscheidungsmethode zulassen, das Ergebnis auf *Robustheit* zu prüfen. Die Möglichkeit zur Anwendung von Sensitivitätsanalysen bezüglich einzelner Kriterien sowie deren Gewichtungen oder Methodenspezifikationen stellen eine letzte allgemeine Anforderung dar. Dabei kann sowohl untersucht werden, wie empfindlich das Ergebnis auf Veränderungen der einzelnen Bewertungen der Kriterien reagiert, als auch welche Auswirkung die Gewichtung der Kriterien hat.

17.2. Politikbetonte Anforderungen

Die politikbetonten Anforderungen sind in besonderem Maße für das in Kapitel 15.2 beschriebene politische Entscheidungsfeld relevant. Im Vergleich zum administrativen Entscheidungsfeld ist in der Anpassungspolitik mit einer größeren Vielfalt der verwendeten Informationen zu rechnen. Neben quantitativen Daten muss auch vermehrt auf qualitative Einschätzungen und aggregierte Daten zurückgegriffen werden. Entscheidungsmethoden sollten in diesem Entscheidungsfeld also Daten verschiedener Formate verwenden können. Es hängt von der Ausgestaltung der jeweiligen Entscheidungsmethode ab, welche Informationen verwendet werden können oder müssen. Entsprechend werden die Anforderungen nach *informationeller Kompatibilität* und *informationeller Flexibilität* gestellt. Zusätzlich ist die *Außenwirkung* der Methode für das politische Entscheidungsfeld von Bedeutung, da diese bestimmte politische Interessen der Entscheidungsträger bedienen kann und somit die Wahrscheinlichkeit der Verwendung beeinflusst.

17.2.1. Informationelle Kompatibilität

Informationelle Kompatibilität, im Sinne von vollständiger Einbeziehbarkeit aller relevanten Informationen bei der Verwendung einer Entscheidungsmethode, ist zunächst eine ökonomische Anforderung. Die Berücksichtigung aller relevanten Informationen ist eine grundlegende Bedingung für eine effiziente sowie sozial optimale Entscheidung und spielt somit auch im Hinblick auf den Entscheidungsprozess eine entscheidende Rolle.⁸ Daher ist die unvollständige Berücksichtigung der verfügbaren Informationen, aufgrund der Unfähigkeit der Entscheidungsmethode bestimmte Informationen zu verarbeiten, möglichst zu vermeiden.

Im Anpassungskontext sind unter Umständen nur qualitative Einschätzungen anstatt quantitativer Daten gegeben. Relevante Entscheidungskriterien wie distributive Fairness oder Robustheit der Maßnahmen sind schwer quantifizierbar, können höchstens als qualitative Einschätzungen abgerufen werden und nur in dieser Form auch in die Berechnung einfließen, sowohl im administrativen als auch im politischen Entscheidungsfeld. Aber auch Kosten und Nutzen lassen sich eventuell nicht quantifizieren, sondern lediglich in Spannen oder qualitativ angeben (siehe Kapitel 16). Dies trifft in besonderem Maße für die Anpassungspolitik zu. Insgesamt bewirkt die Breite des Wirkungsfeldes politischer Entscheidungen, die eine hohe Themenvielfalt und große Bandbreite der zur Verfügung stehenden Maßnahmen mit sich bringt, dass quantitative Bewertungen äußerst aufwendig, komplex und somit teilweise impraktikabel sind. Ein Anspruch könnte also sein, dass auch nicht-monetäre Bewertungen, qualitative (z. B. ordinale) Bewertungen und Spannweiten bei der jeweiligen Entscheidungsmethode verwendet werden können. Es ist erstrebenswert, dass so alle in Kapitel 16 genannten Kriterien bei der Entscheidungsunterstützung bewertet werden können, insofern sie relevant sind.

17.2.2. Informationelle Flexibilität

Umgekehrt ist auch *informationelle Flexibilität* gefragt, wenn nicht alle relevanten Informationen verfügbar oder nicht alle Entscheidungskriterien relevant sind. Die Entscheidungsmethode sollte auch mit verminderter Informationseingabe funktionieren, selbst wenn die Güte der Entscheidung leiden sollte. Damit einher geht eine bestimmte Flexibilität was die Auswahl der Bewertungskriterien und die Messformate dieser angeht. Wenn zum Beispiel keine quantitativen Daten zur Kostenschätzung vorhanden sind, ist es meistens möglich, Spannweiten oder ordinale qualitative Bewertungen anzugeben. Ist eine Methode fähig mit verschiedenen Kriterien oder Informationslücken zu arbeiten, dann sprechen wir von informationeller Flexibilität.

⁸ Perfekte Information ist natürlich keine realistische Anforderung, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass zusätzliche Informationen in diesem Kontext die Güte der Entscheidung tendenziell verbessern.

17.2.3. Bedienung politischer Interessen

Schließlich sollte eine Entscheidungsmethode auch das individuelle Interesse politischer Entscheidungsträger wecken, denn letztendlich entscheidet sich die Verwendung von Entscheidungsmethoden mit der Bedienung von Interessen derer, die über ihre Verwendung entscheiden. Zum Beispiel kann eine Entscheidungsmethode das Interesse eines politischen Entscheidungsträgers bedienen, indem sie seine Entscheidung mit Zahlen unterstützt, die Optimalität bescheinigen oder Kosteneinsparungsmöglichkeiten aufdecken. Dies kann einerseits genutzt werden, um die politische Opposition zu überzeugen und andererseits, um die eigene Politik wirksam bei den Wählern zu vermarkten. Zudem kann sich im Nachhinein auf Berechnungen berufen werden, falls die Entscheidung angefochten wird oder sich als nicht optimal herausstellt. Nach der „discretion versus rules“ Theorie von Kydland & Prescott (1977) kann es auch vorteilhaft sein, sich glaubhaft an (Entscheidungs-)Regeln zu binden, wenn durch die Bevölkerung eine ex-post Abweichung des Staates von der ex-ante sozial optimalen Politik antizipiert wird (vgl. Abschnitt 14.2). Auf der anderen Seite schätzen politische Entscheidungsträger nach der Argumentationslinie der Neuen Politischen Ökonomie diskretionäre Spielräume, da sie so eher einen persönlichen Vorteil aus ihren Entscheidungen ziehen können. Inwiefern eine Methode diese unterschiedlichen Interessen bedient, entscheidet darüber wie attraktiv sie zur Verwendung im politischen Prozess ist.

17.3. Praxisbetonte Anforderungen

Aus dem begrenzten Zeit- und Geldbudget der Entscheider resultieren Anforderungen, die besonders für das administrative Entscheidungsfeld relevant sind. Anders als im politischen Entscheidungsfeld werden im administrativen Bereich zumeist Vorarbeiten zur Entscheidungsfindung nicht an unabhängige Experten delegiert, sondern müssen von administrativen Entscheidungsträgern selber geleistet werden. Damit kommt der *Verständlichkeit* und dem *Implementierungsaufwand* der Methoden im administrativen Entscheidungsfeld besondere Bedeutung zu. Auf der anderen Seite erscheint aufgrund der höheren Spezifität der Entscheidungsprobleme die Stakeholder-Beteiligung im administrativen Bereich praktikabler als im politischen Bereich. Daher wird die *Partizipationsfähigkeit* der Entscheidungsmethoden als praxisbetonte Anforderung angeführt.

17.3.1. Verständlichkeit

Auf den ersten Blick stellt die *Verständlichkeit* der einzusetzenden Methode eine allgemeine Anforderung dar, denn sowohl im administrativen als auch im politischen Entscheidungsfeld gilt, je komplexer und unverständlicher eine Methode desto unwahrscheinlicher wird ihre Anwendung. So raten zum Beispiel Bell et al. (2003) allgemein davon ab, zu komplexe Multikriterielle Analysen zu verwenden, die wie eine “Black Box” funktionieren. Eine Entschei-

dungsmethode sollte das Denken der Anwender unterstützen und nicht ersetzen. Während im Politikbereich jedoch die Delegation komplexer Vorarbeiten zur Entscheidungsfindung an externe Experten, zum Beispiel unabhängige Forschungsinstitute, üblich ist, fehlt administrativen Entscheidern zumeist diese Möglichkeit und sie selbst sind die potentiellen Anwender der Entscheidungsmethoden. Daher sollte die Funktionsweise der Entscheidungsmethode vor allem für administrative Anwender leicht verständlich sein.

17.3.2. Implementierungsaufwand

Ähnlich begründet ist der *Implementierungsaufwand* als eine weitere praxisbetonte Anforderung. Administrative Entscheider haben in der Regel ein begrenztes Zeit- und Geldbudget. Für sie ist also die Verwendbarkeit einer Entscheidungsmethode stärker von dem Aufwand abhängig, welcher bei der Implementierung der Methode für die Anwender entsteht. Daher ist der Implementierungsaufwand für Konzeption, Organisation, Programmierung und Auswertung ein Aspekt, der bei der Auswahl von Entscheidungsmethoden für die administrative Verwendung besonders berücksichtigt werden sollte.

17.3.3. Partizipationsfähigkeit

Zudem kann die Eignung einer Entscheidungsmethode zur Stakeholder-Partizipation als praxisbetonte Anforderung angeführt werden. Neben prozeduraler Fairness, kann auch die direkte Beteiligung der Stakeholder am Entscheidungsprozess die Akzeptanz der Entscheidung steigern. Dabei ist die Umsetzbarkeit der beschlossenen Anpassungsmaßnahmen im administrativen Entscheidungsfeld oft stark von der Akzeptanz der Stakeholder abhängig. Daher sollte eine Entscheidungsmethode in der Lage sein, mehrere Perspektiven gleichzeitig zu berücksichtigen oder zumindest für einen konsensorientierten Entscheidungsprozess unter Beteiligung der Stakeholder geeignet sein, in welchem sich auf die Kalibrierung der Entscheidungsmethode mit Gewichtungen oder Ähnlichem geeinigt wird. Da die Entscheidungsprobleme im administrativen Entscheidungsfeld spezifischerer Natur sind als im politischen Entscheidungsfeld ist die Beteiligung hier praktikabler.

Beteiligungsprozesse bieten zudem die Möglichkeit, zusätzliche private Informationen von den Stakeholdern einzuholen, die unter Umständen ansonsten nicht zugänglich sind. Dies trifft für den administrativen Bereich in besonderem Maße zu, da dort oft die Kapazitäten für Forschung und Umfragen fehlen. Zudem können Stakeholder über spezifische Informationen mit praktischer Relevanz verfügen, die für konkrete Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im administrativem Bereich von besonderer Relevanz sein können. Somit scheint es gerechtfertigt, die Fähigkeit der Entscheidungsmethode zur Beteiligung von betroffenen Akteuren als gesonderte Anforderung an Entscheidungsmethoden im administrativen Bereich mitaufzunehmen.

Auch im politischen Bereich, jedoch in geringerem Maße, ist die Partizipationsfähigkeit einer Entscheidungsmethode relevant. Stakeholderpartizipation kann bei der Gestaltung der Anpas-

sungspolitik als politische Partizipation interpretiert werden, welche zufolge der partizipatorischen und deliberativen Demokratietheorien erstrebenswert ist.

18. Analyse der Eignung ökonomischer Bewertungs- und Entscheidungsmethoden für die Klimaanpassungspolitik

Die letzten Kapitel haben die Schwierigkeiten staatlicher Anpassung aus ökonomischer Perspektive herausgestellt und Möglichkeiten dargelegt, wie Entscheidungsmethoden helfen können, diese zu überwinden. In diesem Kapitel soll nun untersucht werden, welche der verfügbaren Entscheidungsmethoden am besten den Anforderungen der Anpassungspolitik entsprechen.

Dafür werden zunächst sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die praktischen Funktionsweisen verschiedener Entscheidungsmethoden vorgestellt. Aus einer breiten Auswahl an Methoden werden dabei lediglich Verfahren untersucht, die laut im Umwelt- und Anpassungsbereich am häufigsten diskutiert werden (Huang et al., 2011; Watkiss et al., 2014). Diese Entscheidungsmethoden spiegeln das Spektrum der insgesamt verfügbaren Verfahren dennoch gut wieder. Sie reichen von rein ökonomisch motivierten Ansätzen wie der Kosten-Nutzen-Analyse bis hin zu stärker anwendungsoptimierten Ansätzen wie der Multikriteriellen Analyse.

Jeweils im Anschluss an die Beschreibung der Funktionsweise wird jede Entscheidungsmethode hinsichtlich der im vorangehenden Kapitel aufgestellten Anforderungen bewertet. Dabei wird die in Kapitel 15 aufgestellte Unterteilung der staatlichen Klimaanpassung in administratives und politisches Entscheidungsfeld berücksichtigt, die zum Teil sehr unterschiedliche Entscheidungssituationen erwarten lässt. Mit dem Vergleich dieser zwei Entscheidungsfelder lassen sich die Stärken und Schwächen der einzelnen Entscheidungsmethoden in der Bewertung differenzierter herausstellen.

Nachdem in Abschnitt 18.1 die Funktionsweise der einzelnen Entscheidungsmethoden erklärt und auf Erfüllung der anpassungsspezifischen Anforderungen analysiert wurde, vollzieht Abschnitt 18.2 schließlich eine vergleichende Analyse, in der ermittelt wird, welche Entscheidungsmethoden in welchem Entscheidungsfeld der staatlichen Anpassung eingesetzt werden sollten.

18.1. Funktionsweise und allgemeine Eignung der Entscheidungsmethoden

18.1.1. Kostenwirksamkeitsanalyse

Die Kostenwirksamkeitsanalyse (KWA) bewertet Handlungsalternativen indem sie ihre Nutzen, gemessen in nicht-monetären Einheiten, und ihre monetären Kosten gegeneinander abwägt. Der Nutzen einer Alternative kann beispielsweise in physischen Einheiten gemessen werden. Bei Anpassungsalternativen zur landwirtschaftlichen Bewässerung kann der Nutzen jeder Alternative zum Beispiel in m^3 zugeführten Wassers erfasst werden. Jedoch müssen alle Alternativen zwingend in gleichen Einheiten bewertet werden, was eine starke Einschränkung darstellt.

Generell kann die KWA auf zwei verschiedene Weisen eingesetzt werden (Metroeconomica, 2004):

- um die kostenminimale Alternative für ein vorher festgelegtes Ziel zu finden,
- um bei einem beschränkten Budget die Alternative mit dem größten Nutzen zu finden.

Eingesetzt wurde die Kostenwirksamkeitsanalyse bereits in den Bereichen Klimaschutz, Gesundheit und Wasserwirtschaft. Die Einfachheit der Methode erlaubt es ohne weiteres, anstatt privater Ressourcenkosten, soziale Kosten wie Umweltkosten und Wohlstandseinbußen zu betrachten. Somit kann die Methode nicht nur zur Bewertung von Projekten, sondern von ganzen Strategien eingesetzt werden. Besonders schwierig ist jedoch die Auswahl eines einheitlichen Nutzenkriteriums für vielseitige Anpassungsstrategien.

18.1.1.1. Verfahren

Da Kosten und Nutzen über die Zeit ungleichmäßig anfallen, ist es ökonomisch sinnvoll, sie ihrer zeitlichen Anordnung entsprechend gegeneinander abzuwägen. Konkret bieten sich zwei Möglichkeiten, um Kostenwirksamkeit zu berechnen (Metroeconomica, 2004):

1. Diskontierte Kostenwirksamkeit = $\frac{\text{Kapitalwert des Kostenstroms}}{\text{Kapitalwert des Nutzenstroms}}$
2. Durchschnittliche Kostenwirksamkeit = $\frac{\text{Jährliche Durchschnittskosten}}{\text{Jährlicher Durchschnittsnutzen}}$

Die Einheit des Kostenwirksamkeitsfaktors wäre für das oben genannte Beispiel der Bewässerungsmaßnahmen in beiden Fällen $\text{€}/m^3$. Der erste Ansatz bietet die Möglichkeit, die verwendeten Parameter über die Zeit variieren zu lassen, während der zweite Ansatz nur passend ist, wenn die Projektparameter über die Zeit konstant bleiben.

18.1.1.1.1. Diskontierte Kostenwirksamkeit Die Formel zur Berechnung der diskontierten Kostenwirksamkeit lautet:

$$\text{Kostenwirksamkeit} = \frac{\sum_{t=0}^T (I_t + K_t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^T (Y_t)(1+r)^{-t}},$$

wobei I_t die Investitionskosten und K_t die Betriebskosten (z. B. Abschreibungen auf Anlagen, Kosten für Betriebsstoffe und Personalkosten) der Maßnahme im Jahr t bezeichnen.¹ Y_t bezeichnet den nicht-monetären Nutzen einer Maßnahme (z. B. in einer physischen Einheit) und r den kalkulatorischen Zinssatz. Angenommen wird eine Lebensdauer der Investition bzw. eine Projektlaufzeit von T Jahren, in denen Kosten und Nutzen anfallen können. Der Zähler des Quotienten beschreibt also den diskontierten Kapitalwert der Kosten der Handlungsalternative, während der Nenner den diskontierten Wert des Nutzens darstellt. Jegliche zeitliche Struktur dieser beiden Projektparameter kann bei der Berechnung der Kostenwirksamkeit exakt erfasst werden.

18.1.1.1.2. Durchschnittliche Kostenwirksamkeit Die durchschnittliche Kostenwirksamkeit berechnet sich hingegen wie folgt:

$$\text{Kostenwirksamkeit} = \frac{\left[\sum_{t=0}^T \frac{(I_t + K_t)}{(1+r)^t} \right] \left[\frac{r(1+r)^T}{r(1+r)^T - 1} \right]}{Y}.$$

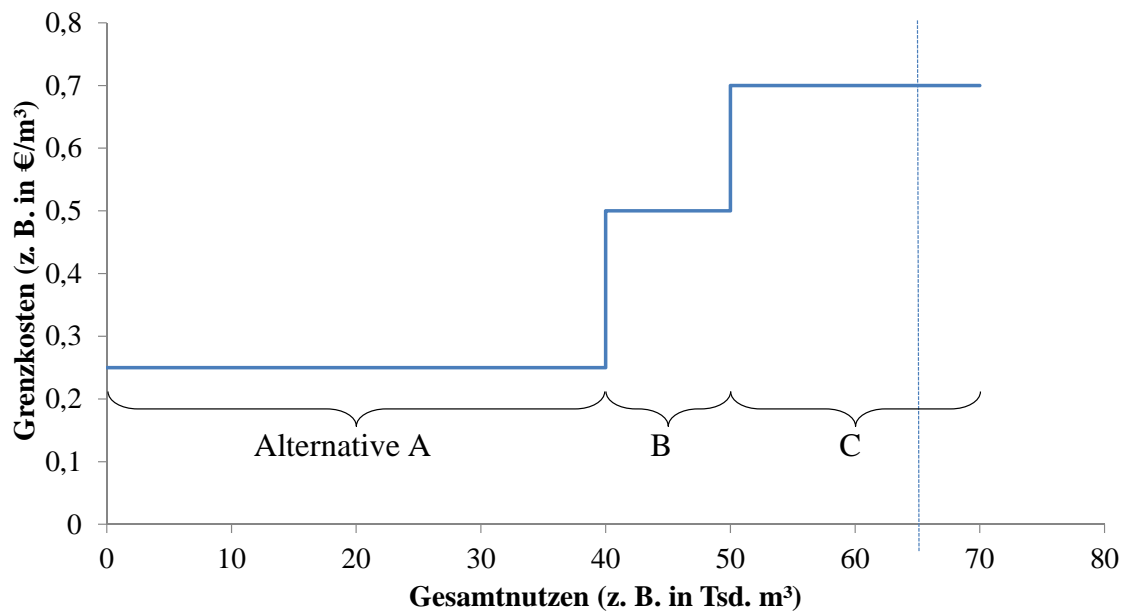
Bei der Durchschnittsmethode wird der Kapitalwert der Gesamtkosten $\sum_{t=0}^T \frac{(I_t + K_t)}{(1+r)^t}$ mit dem Annuitätenfaktor $\frac{r(1+r)^T}{r(1+r)^T - 1}$ multipliziert, sodass sich eine jährliche Kostenannuität ergibt. Diese wird durch den jährlich konstanten Nutzenwert Y geteilt, um die durchschnittliche Kostenwirksamkeit zu berechnen. Die Formel lässt sich weiter vereinfachen, wenn die Investitionskosten I_0 lediglich zu Projektbeginn anfallen und die Betriebskosten konstant sind. Dann beträgt die durchschnittliche Kostenwirksamkeit

$$\frac{I_0 \left[\frac{r(1+r)^T}{r(1+r)^T - 1} \right] + K}{Y}.$$

18.1.1.1.3. Grenzkostenkurven Zur Darstellung von Ergebnissen der KWA werden häufig Grenzkostenkurven verwendet. Im Bereich Klimaschutz heißen diese zum Beispiel Vermeidungskostenkurven (siehe Committee on Climate Change, 2008), und zeigen den kumulativ in Tonnen aufsummierten Beitrag der kosteneffizientesten Alternativen zur Vermeidung des CO_2 -Ausstoßes, bis das gesetzte Ziel erreicht werden kann. Mit Grenzkostenkurven lassen sich die Kosten für die Erreichung einer gewissen Wirksamkeit einer Maßnahme oder einer Strategie übersichtlich darstellen. Abbildung 18.1 zeigt eine beispielhafte Darstellung einer Grenzkos-

¹ Bei einer linearen Abschreibungsweise und einer Abschreibungsgrundlage von W würden sich jährlich konstante Abschreibungskosten von $A_t = \frac{W}{T}$ ergeben.

Abbildung 18.1.: Beispiel für eine Grenzkostenkurve



tenkurve für den Bereich Anpassung. Der Gesamtnutzen eines Programms oder einer Strategie wird auf der Abzisse abgetragen (z. B. in Tsd. m^3 zur Bewässerung bereitgestelltem Wasser) und die Kosten pro Nutzeneinheit der jeweiligen Anpassungsalternative werden auf der Ordinate abgetragen (z. B. in $m^3/\text{€}$). Die Anpassungsalternativen werden nach ihrer Kostenwirksamkeit, beginnend mit der niedrigsten, geordnet und dann in das Achsendiagramm mit ihrem maximalen Ertrag eingetragen. Wenn also beispielsweise als Ziel eine Bereitstellung von zusätzlichen 65.000 m^3 Wasser zur Bewässerung angepeilt wird, lässt sich der Grafik leicht entnehmen, dass dafür alle drei Anpassungsoptionen genutzt werden müssen und welche Kostenstruktur dabei anfällt.

18.1.1.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

Im Folgenden wird die KWA anhand der in Kapitel 17 aufgestellten Anforderungen bewertet. Die Bewertungen aller Entscheidungsmethoden sind in Tabelle 18.7 (Abschnitt 18.2, Seite 188) zusammengefasst, wo sie im Anschluss an diesen Abschnitt vergleichend ausgewertet werden.

18.1.1.2.1. Allgemeine Anforderungen Die *rationalisierende Wirkung* der KWA ist relativ hoch. Die Komplexität des Entscheidungsproblems wird für die Benutzer erheblich verringert, sodass kognitive Begrenzungen bei der Auswertung der Entscheidungsmethode kein Hindernis darstellen sollten. Die monetäre Bewertung schwer zu bestimmender Kosten (z.B. soziale Kosten, Kosten für Verlust von Biodiversität, Bewertung von Menschenleben) kann hingegen dennoch so komplex sein, dass es weiterer Hilfsmittel bedarf. Durch die explizite Diskontierung als Teil der Methode wird hyperbolische Diskontierung und somit zeitlich inkonsistente Präferenzen vermieden. Da die KWA systematische numerische Bewertungen erfordert, sei es bei

den physikalischen Nutzengrößen oder monetären Kostengrößen, und somit analytisch reflektives Denken verlangt, wird kognitiven Entscheidungsheuristiken und Verzerrungen vorgebeugt. Nur wenn die Größen grob und schnell geschätzt werden, kann es dennoch zum Beispiel zu Ankerheuristiken kommen, bei denen Schätzungen von irrelevanten anderen Zahlen beeinflusst werden. Grobe und schnelle Einschätzungen des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen sind zudem für Gewinnoptimismus anfällig und könnten überschätzt werden. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass der Aufbau und Detailgrad der Methode zu solchen groben Einschätzungen verleitet.

Die KWA eignet sich insofern gut zum *Monitoring* von staatlicher Anpassung, als sie mit der Kostenwirksamkeit eine klare und einheitliche Kennzahl liefert, die einfach zum Überprüfen der staatlichen Aktivitäten genutzt werden kann und leicht interpretiert werden kann. Die Zusammensetzung der Kennzahl ist aufgrund der detaillierten Berechnungsformel transparent. Die Abfrage konkreter Kostenkennzahlen und Wirksamkeiten erschwert die Einflussnahme von Eigeninteressen im Vergleich zu diskretionärer Entscheidungsfindung. Dies trifft vor allem bei konkreten Maßnahmen im administrativen Bereich zu, wo diese Kennzahlen leichter (z.B. anhand Kostenvoranschlägen) zu überprüfen sind. Im politischen Entscheidungsfeld bleibt jedoch bei den Einzelbewertungen der Kosten und Nutzen mehr Spielraum für den Einfluss von Eigeninteressen, da die Effekte der zur Auswahl stehenden Instrumente oft nicht direkt an Marktpreisen überprüfbar sind. Generell erschweren die langen Laufzeiten und sonstigen Unsicherheiten die Überprüfung der einzelnen Eingaben dieser Methode. Insgesamt eignet sich die KWA daher eher zum Monitoring staatlicher Anpassung im administrativen Entscheidungsfeld als im politischen Entscheidungsfeld.

Die KWA bietet keine explizite Möglichkeit *Unsicherheit oder Ungewissheit* bezüglich der Eingaben zu berücksichtigen. Bei Unsicherheit können Wahrscheinlichkeiten oder eine Risikopräferenz bei der Berechnung von Kostenwirksamkeit dennoch berücksichtigt werden, indem die Kosten- und Nutzenwerte als Erwartungswerte in die Berechnung einfließen.² Dazu müssen die verschiedenen möglichen Ausprägungen dieser Werte mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten für jeden berücksichtigten Zeitpunkt bekannt sein. Es bleibt jedoch zu betonen, dass besonders im Anpassungsbereich diese Eintrittswahrscheinlichkeiten in der Regel unbekannt oder nur sehr ungenau einschätzbar sind. Eine Verwendung der KWA unter Ungewissheit ist jedoch nicht möglich. Damit erfüllt die KWA die Anforderung nach Anwendbarkeit unter Unsicherheit oder Ungewissheit nur teilweise.

Eine Rangfolge der verfügbaren Handlungsalternativen kann bei der KWA mittels Ordnung nach Kostenwirksamkeiten oder Grenzkostenkurve erstellt werden.³ Damit wird der Anforderung nach Priorisierung und Lösung der Rangfolgenproblematik uneingeschränkt entsprochen.

Da für die Berechnung der KWA bereits die Kosten der jeweiligen Alternativen gegeben sind, kann unter Hinzunahme eines verfügbaren Budgets auch direkt eine *Auswahl* der umzusetzen-

² Dieses Vorgehen wird genauer im nächsten Abschnitt zur Kosten-Nutzen-Analyse erläutert.

³ Vorausgesetzt die Kostenwirksamkeit und Grenzkurve kann berechnet werden.

den Maßnahmen getroffen werden. Dies ist besonders im administrativen Entscheidungsfeld von Vorteil. Zur *Sortierung* der Anpassungsmaßnahmen eignet sich die KWA hingegen weniger gut, da die Kategorien ausschließlich anhand der Kostenwirksamkeit festgelegt werden können. Der Mehrwert einer Einteilung der Anpassungsalternativen nach Kategorien wie zum Beispiel „wenig kosteneffizient“ und „sehr kosteneffizient“ im Vergleich zu einer Rangfolge oder konkreten Auswahl ist fraglich. Da die Varianzen der Bewertungen und deren Abhängigkeiten zwischen den Alternativen bei der KWA nicht berücksichtigt werden können, ist diese Methode zudem zur Lösung einer *Portfolioproblematik* nicht geeignet.

Die Einfachheit der KWA ist von Vorteil für die *prozedurale Fairness* ihrer Anwendung. Sie erhöht die in der Bevölkerung empfundene *Konsistenz* der Regelanwendung, da lediglich eine Entscheidungsvariable verwendet wird und damit im Hinblick auf die Entscheidungsregel kaum Widersprüche auftreten können. Dass die Vereinfachung eines so komplexen Vorhabens wie der staatlichen Klimawandelanpassung auf eine nicht-monetäre Nutzeinheit oder auf ein einheitliches Ziel aller zur Wahl stehenden Maßnahmen widerspruchsfrei zu leisten ist, kann jedoch bezweifelt werden. Je verschiedenartiger die zu bewertenden Maßnahmen sind desto mehr Vereinfachungen müssen gemacht werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Widersprüchen führen. Die Verwendung der KWA beim Vergleich thematisch vielfältiger Handlungsalternativen im politischen Entscheidungsfeld ist daher tendenziell inkonsistenter als die administrative Maßnahmenwahl mittels KWA. Weiter vermittelt die einfache additive Berechnung der Kostenwirksamkeit gleichzeitig den Eindruck von einfacher *Korrigierbarkeit*. Einzelne Kostenbewertungen können schnell geändert werden und auch zuvor unberücksichtigte Kostenarten können einfach hinzugefügt werden, ohne die gesamte Bewertung umstrukturieren zu müssen. Auch die Höhe des Nutzenzieles (z. B. 100,000m³ anstatt 65,000m³ Bewässerung) kann leicht variiert werden. Wenn sich jedoch das nicht-monetäre Nutzenmaß als nicht passend erweist, dann muss die komplette Nutzenbewertung aller Alternativen nochmals durchgeführt werden. In dieser Hinsicht ist die Korrigierbarkeit der Methode nur gering, was die empfundene prozedurale Fairness der Methode mindern kann. Wie bereits erwähnt, ist die nicht-monetäre Nutzeinheit oder das univariate Ziel der Anpassung jedoch gerade im Anpassungsbereich kritisch, und könnte sowohl im politischen als auch im administrativen Entscheidungsprozess durchaus öfter revidiert werden. Daher fällt die geringe Korrigierbarkeit dieses Elementes der KWA besonders schwer ins Gewicht. Die *Unvoreingenommenheit* der bei der KWA unternommenen Bewertungen hängt hingegen davon ab, ob diese auf objektiven Daten oder intransparenten subjektiven Einschätzungen beruhen. Während im administrativen Entscheidungsfeld die Kosten konkreter Anpassungsmaßnahmen sich an Marktpreisen orientieren können, sind die Kosten politischer Instrumente zumeist weitläufiger und kaum eindeutig zu beziffern. Daher ist davon auszugehen, dass die KWA im administrativen Bereich eher den Eindruck von Objektivität vermittelt als bei der Verwendung im politischen Bereich. Besonders bei technischen Maßnahmen kann die KWA den Eindruck von *Genauigkeit* vermitteln, wenn die physikalische Nutzengröße klar definiert werden kann, die Kosten sich auf monetäre Betriebs- und Investitionskosten beschränken und

die Werte zeitlich gut aufgeschlüsselt werden können. Sind jedoch schwieriger zu bewertende Kosten relevant wie zum Beispiel soziale Kosten oder Verlust von Biodiversität, dann ist die Bewertung mittels KWA trotz Möglichkeit zur genauen Aufschlüsselung der Kosten ungenau. Die Genauigkeit der Methode ist daher im administrativen Bereich erwartungsweise höher als im politischen Einsatzgebiet. Die *Repräsentativität* der KWA-Methode leidet unter der Beschränkung auf eine Nutzenvariable. Zwar könnten auf Kostenseite der KWA theoretisch alle sozialen Kosten einer Maßnahme berücksichtigt werden, aber die Nutzenseite bleibt dennoch eindimensional und weist gar keine Repräsentativität auf. Der Nutzen einer Maßnahme kann zudem verschiedenen Stakeholdern in unterschiedlichem Maße zu Gute kommen, was bei der einfachen Berechnungsweise der KWA nicht berücksichtigt werden kann. Insgesamt erfüllt die KWA im administrativem Entscheidungsfeld drei von fünf Anforderungen prozeduraler Fairness, während im politischen Entscheidungsfeld keine erfüllt wird.

Bezüglich der *interaktionalen Fairness* profitiert die KWA-Methode von der Beschränkung auf eine Nutzenvariable, da dies sowohl den Umfang der verwendeten Informationen und damit ihre Kommunikation an die Bevölkerung erleichtert (z.B. mittels einer Grenzkostenkurve) als auch gleichzeitig die Mitteilung bestehender Erwartungen mit dem Abzielen auf Kostenwirksamkeit erleichtert. Allerdings sind die nötigen monetären Kostenbewertungen unter Umständen komplex und nur schwer zu vermitteln. Dies gilt insbesondere für das politische Entscheidungsfeld, wo vielfältigere relevante Kosten zu erwarten sind. Somit erfüllt die Methode beide Anforderungen interaktionaler Fairness im administrativen Entscheidungsfeld und nur eine im politischen Anwendungsbereich.

Um die *Robustheit* der Entscheidung bei der KWA zu überprüfen, bietet sich eine Sensitivitätsanalyse an, bei der untersucht wird, welche der Variablen (Kosten, Nutzen, Diskontierungsrate etc.) den größten Einfluss auf das Ergebnis hat. Somit ist eine relativ einfache Lösung dieser Anforderung gegeben. Eine explizite Berücksichtigung dieses Aspektes gibt es bei der Anwendung einer KWA hingegen nicht.

18.1.1.2.2. Politikbetonte Anforderungen Die Anforderung der *informationellen Kompatibilität* erfüllt die KWA insgesamt unzureichend. Anders als im Klimaschutzbereich, wo mit $\frac{\text{€}}{\text{Tonne CO}_2}$ ein eindeutiges Kostenwirksamkeitsmaß der Maßnahmen gegeben ist, deckt die Kostenwirksamkeit einer Anpassungsmaßnahme nicht alle relevanten Aspekte des Entscheidungsproblems ab. Beschränkt man sich auf dieses eine Maß, dann lässt man wichtige Aspekte, wie distributive Gerechtigkeit und Robustheit der Maßnahmen (siehe Abschnitt 16), außer Acht. Weiter ist es fraglich, ob alle relevanten Kosten mittels einer monetären Bewertung erfasst werden können, denn bei der Klimawandelanpassung spielen verschiedene Kosten eine Rolle, die nicht direkt an Marktpreisen abgelesen werden können (siehe Abschnitt 16.1). Zudem werden keine Synergien oder Konflikte zwischen den einzelnen Alternativen beachtet. Weiter ist es nicht möglich, Alternativen zu vergleichen, die in verschiedenen Sektoren wirken und kein gemeinsames Wirksamkeitsattribut aufweisen, womit besonders im politischen Entscheidungs-

feld zu rechnen ist. Besonders bei der Aufstellung von Anpassungsstrategien dürfte es nahezu unmöglich sein, sich auf ein univariates Anpassungsziel zu beschränken oder eine Nutzengröße zu identifizieren, mit der sich alle politischen Instrumente messen lassen. Außerdem scheint die monetäre Bewertung der Kosten von politischen Instrumenten wie Gesetzen schwierig, da diese sehr vielfältig und schwer zu bewerten sein können. In beiden Entscheidungsfeldern ist die Berücksichtigung von distributiver Fairness und Robustheit der Maßnahmen nicht möglich. Insgesamt genügt die KWA der Anforderung informationeller Kompatibilität also nicht.

Die KWA ist insofern informationell flexibel, als die Kostenwirksamkeit immer berechnet werden kann, solange für jede Alternative quantitative Bewertungswerte eingegeben werden. Ist die Berechnung dieser Werte lückenhaft oder inkonsistent, dann leidet zwar die Qualität der KWA, aber sie liefert dennoch ein Ergebnis.⁴ Die *informationelle Flexibilität* der KWA ist insgesamt aus folgenden Gründen dennoch relativ gering. Es muss in jedem Fall ein einheitliches und quantitatives Maß für den Nutzen der Maßnahmen gefunden werden. Zudem müssen die Kosten der Anpassungsmaßnahmen konkret in monetären Einheiten angegeben werden. Das Ausweichen auf Spannen oder qualitative Einschätzungen bei Nichtverfügbarkeit dieser Daten ist nicht möglich. Insgesamt sind dies relativ strikte Einschränkungen, die besonders in einem so diversen Feld wie der Klimaanpassung schnell an die Grenzen des Machbaren stoßen.

Erfolgt die Auswahl der Anpassungsmaßnahmen mittels KWA, kann dies eine kosteneffiziente Politik signalisieren und für die Wiederwahl förderlich sein. Unter Umständen lassen sich mit dieser Methode sogar Kosteneinsparungsmöglichkeiten aufzeigen, was gut als politisches Argument in Verhandlungen genutzt werden kann. Insgesamt schränkt die KWA jedoch den diskretionären Spielraum der politischen Entscheider stark ein, was die Attraktivität dieser Methode erheblich schmälert. Die Anforderung nach *Bedienung politischer Interessen* erfüllt die KWA also nur teilweise.

18.1.1.2.3. Praxisbetonte Anforderungen Die *Verständlichkeit* der KWA-Methode an sich ist generell sehr hoch, da es sich lediglich um eine Aufsummierung der diskontierten Kosten und Nutzen handelt. Die Auswahl der Anpassungsmaßnahmen nach den geringsten Kosten stellt den einfachsten Ansatz unter den untersuchten Entscheidungsmethoden dar und ist geradezu intuitiv. Die Verständlichkeit einer KWA kann lediglich gemindert werden, wenn die Berechnung der Kosten schwer verständlich ist. Dies kann der Fall sein, wenn beim Vergleich von Maßnahmen Kosten relevant sind, die keine Marktpreise tragen. Im Bereich der Klimawandelanpassung ist zum Beispiel denkbar, dass manche Anpassungsmaßnahmen den Verlust von Ökosystemdienstleistungen oder kulturellem Wert mit sich bringen und somit Kosten verursachen, die monetär schwer zu bewerten sind und die Anwendung der KWA insgesamt unverständlicher machen.

Obwohl die Schwierigkeit der Berechnung der Kosten für Anpassungsmaßnahmen mit lan-

⁴ Die einzelnen Kostenbewertungen sollten zum Beispiel vergleichbar sein, also die gleichen Kostenbestandteile beinhalten, um die Vergleichbarkeit der Maßnahmen mittels KWA zu gewährleisten. Die Methode funktioniert auch mit verschiedenartigen Kosten, dann jedoch mit verminderter Entscheidungsqualität.

gem Planungshorizont nicht zu unterschätzen ist (siehe Abschnitt 16.1), sind die Kosten im Vergleich zu monetarisiertem Nutzen oder zu Wahrscheinlichkeitsverteilungen leichter einzuschätzen. Durch die bessere Datenlage bei den benötigten Informationen ist der *Implementierungsaufwand* der niedrigste der untersuchten Entscheidungsmethoden. Eine umfassende monetäre Bewertung der Kosten politischer Instrumente im politischen Entscheidungsfeld scheint aufgrund der weitläufigen Effekte dennoch sehr schwierig, während die Wirkung der Maßnahmen im administrativem Bereich spezifischer ist und damit die Bewertung ihrer Kosten einfacher erscheinen lässt. Da administrative Einheiten üblicherweise Rechenschaft über ihre Wirtschaftlichkeit ablegen müssen, die Kosten von Maßnahmen teilweise direkt bei ihnen anfallen und bestimmte Erfahrungswerte damit gegeben sein müssten, dürfte eine monetäre Bewertung im administrativem Bereich zusätzlich einfacher sein.

Die KWA bietet wenige Anknüpfungspunkte für Partizipation und Kommunikation mit Stakeholdern. Zwar kann die Auswahl der nicht-monetären Nutzenmaßeinheiten, quantitativen Anpassungsziele und Kostenbestandteile mit den Betroffenen besprochen werden, die Möglichkeit zur weiteren Partizipation bleibt jedoch sehr eingeschränkt. Auch können die Präferenzen der unterschiedlichen Stakeholder-Gruppen nicht explizit in die Berechnung der Kostenwirksamkeit einfließen. Zudem ist die Kommunikation auf Grundlage von physikalischen Nutzengrößen oder monetären Kostenbewertungen nicht einfach. Insgesamt ist die Partizipationseignung dieser Methode gering.

18.1.2. Kosten-Nutzen-Analyse

Die wahrscheinlich bekannteste ökonomische Entscheidungsmethode ist die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA). Im angelsächsischen Raum werden „soziale“ KNA bereits weitläufig für die Vergabe von Mitteln im Rahmen von Politikstrategien, Programmen und Projekten eingesetzt (Treasury, 2003, 2011).

Die KNA geht einen Schritt weiter als die KWA und vergleicht sowohl die Kosten als auch den Nutzen der Handlungsalternativen in monetärer Form. Die Wahl einer gemeinsamen monetären Messeinheit für Kosten und Nutzen erlaubt es, diese gegeneinander aufzuwiegen. Auch hier kommt es jedoch wieder besonders sowohl auf den Zeitpunkt des Anfallens der Kosten und Nutzen als auch auf die Diskontierung dieser an.

18.1.2.1. Verfahren

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) müssen alle einfließenden Entscheidungskriterien in Geldeinheiten ausgedrückt werden. Dafür ist eine Monetarisierung der sozialen Kosten und Nutzen aller zu bewertenden Handlungsalternativen nötig. Obwohl verschiedene Methoden wie interner Zinsfuß und Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Berechnung einer KNA verwendet werden können, wird aufgrund ihrer Einfachheit und Konsistenz generell die Kapitalwertmethode vorgezogen (Treasury, 2003; Metroeconomica, 2004). Je nach Grad der Unsicherheit müssen je-

doch verschiedene Entscheidungsgrößen berechnet werden. Folgende Entscheidungsvariablen bieten sich an:

- Kapitalwert,
- erwarteter Kapitalwert,
- erwarteter Nutzenwert.

18.1.2.1.1. Kapitalwert Bei vollständiger Sicherheit über die zukünftigen Ausprägungen und Zahlungsströme der Anpassungsmaßnahme kann der Kapitalwert berechnet werden. Der Kapitalwert einer Anpassungsmaßnahme (KW_0) ergibt sich aus der Differenz zwischen Barwert des Nutzens und Barwert der Kosten:

$$KW_0 = \sum_{t=0}^T \frac{N_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t + I_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{N_t - K_t - I_t}{(1+r)^t}.$$

Dabei bezeichnet N_t den Nutzen der Maßnahme zu Zeitpunkt t , ausgedrückt in Geldeinheiten (zum Beispiel €). K_t und I_t bezeichnen, wie bereits zuvor, die Betriebs- und Investitionskosten, und r bezeichnet den kalkulatorischen Zinssatz oder Diskontierungsfaktor. Ist der Kapitalwert positiv, dann weist eine Maßnahme einen positiven Nettonutzen auf und ist vorteilhaft bei der Umsetzung. Je höher der Kapitalwert desto höher die Vorteilhaftigkeit der Maßnahme. Zur Auswahl der Maßnahmen kann ein Ranking aufgestellt werden, falls diese gleichzeitig umgesetzt werden können. Schließen sich die Maßnahmen gegenseitig aus, sollte die Maßnahme mit dem höchsten Kapitalwert gewählt werden.

18.1.2.1.2. Erwarteter Kapitalwert Die schwächste Form der Unsicherheit besteht, wenn die zukünftigen Umweltzustände nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden können, aber mit spezifischen Wahrscheinlichkeiten belegt werden können. Diese möglichen Umweltzustände können beispielsweise verschiedene Ausprägungen des Klimawandels, der Wirksamkeiten der Maßnahmen, der anfallenden Kosten oder der autonomen Anpassungsaktivitäten umfassen.

Der erwartete Kapitalwert $E(KW_0)$ berechnet sich bei Kenntnis der Wahrscheinlichkeitsverteilung wie folgt:

$$E(KW_0) = \sum_{k=0}^m p_k \cdot KW_{0,k} = \sum_{k=0}^m \left(p_k \cdot \sum_{t=0}^T \left(\frac{N_{t,k} - K_{t,k} - I_{t,k}}{(1+r)^t} \right) \right).$$

Dabei bezeichnet p_k die Eintrittswahrscheinlichkeit eines der m möglichen Umweltzustände und $KW_{0,k}$, $N_{t,k}$, $K_{t,k}$, $I_{t,k}$ die Ausprägungen der zuvor definierten Variablen in diesem k -ten Umweltzustand. Je höher der erwartete Kapitalwert einer Anpassungsmaßnahme desto vorteilhafter ist diese.

Bei einer Entscheidung nur nach dem Erwartungswert wird das mit der Streuung der Werte innerhalb der Wahrscheinlichkeitsverteilung verbundene Risiko jedoch nicht berücksichtigt.

Um dieses zu quantifizieren, bietet es sich an, die Standardabweichung für jede Anpassungsalternative zu berechnen. Diese misst, wie weit die einzelnen Ausprägungen nach Umweltzuständen um den Erwartungswert streuen. Die Standardabweichung SD berechnet sich wie folgt:

$$SD = \sqrt{\sum_{k=0}^m p_k \cdot (KW_{0,k} - E(KW_0))^2}.$$

Je höher die Standardabweichung desto größer ist die Streuung der möglichen Ausprägungen und desto höher das Risiko der Alternative.

Um bei unterschiedlich „großen“ Anpassungsalternativen das Risiko relativ zum erwarteten Kapitalwert auszudrücken, kann es zudem sinnvoll sein, den Variationskoeffizienten V zu berechnen, der die Standardabweichung durch den Erwartungswert teilt:

$$V = \frac{SD}{E(KW_0)}.$$

Wenn der erwartete Kapitalwert $E(KW_0)$ zweier Alternativen gleich ist, würde ein risikoaverser Entscheider diejenige Alternative mit der geringeren Standardabweichung SD wählen. Wenn jedoch zwischen einer „sicheren“ Alternative, mit geringer Standardabweichung und niedrigerem erwartetem Kapitalwert, und einer „riskanten“ Alternative, mit einer höheren Standardabweichung und höherem erwartetem Kapitalwert entschieden werden muss, dann muss der Entscheider zwischen Risiko und Nutzen abwägen.⁵ Dies kann er, indem er eine Nutzenfunktion $U(KW_0)$, die seinen Grad an Risikoaversion widerspiegelt.

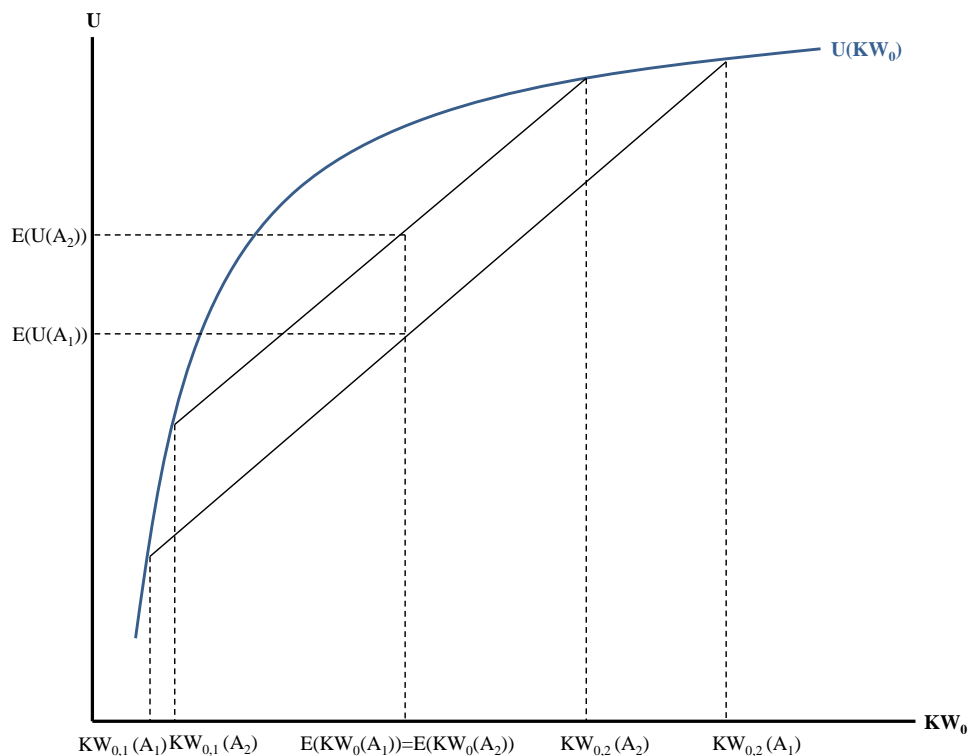
18.1.2.1.3. Erwarteter Nutzenwert Eine Möglichkeit, Risiko bei Entscheidungen implizit zu berücksichtigen, ist die Aufstellung einer Nutzenfunktion $U(KW_0)$ in Abhängigkeit von Kapitalwert und Risiko. Diese Funktion spiegelt die Risikoaversion oder Risikoaffinität des Entscheiders wider. In Abbildung 18.2 ist eine Nutzenfunktion dargestellt, die einem risikoaversen Entscheider zuzuordnen wäre. Die Auswahl der besten Alternative erfolgt nach dem höchsten erwarteten Nutzenwert, welcher sich analog zum Kapitalwert berechnet:

$$E(U(KW_0)) = \sum_{k=0}^m p_k \cdot U(KW_{0,k}).$$

In dem Beispiel aus Abbildung 18.2 mit zwei möglichen Umweltzuständen berechnet sich der erwartete Nutzenwert wie folgt: $E(U) = p \cdot U(KW_{0,1}) + (1 - p) \cdot U(KW_{0,2})$. In diesem Fall ist Alternative A_2 der Alternative A_1 vorzuziehen, da sie bei gleichem Erwartungswert ($E(KW_0(A_1)) = E(KW_0(A_2))$) die geringere Streuung der Ausprägungen hat und somit für diesen risikoaversen Entscheider einen höheren erwarteten Nutzenwert ($E(U(A_2)) > E(U(A_1))$) aufweist. Ein risikoneutraler Entscheider wäre indifferent zwischen beiden Alternativen, da seine Nutzenfunktion einer Geraden entsprechen würde und der erwartete Nutzen für beide Alternativen gleich wäre.

⁵ Hier wäre $SD(A_{\text{sicher}}) < SD(A_{\text{riskant}})$ und $E(KW_0(A_{\text{sicher}})) < E(KW_0(A_{\text{riskant}}))$

Abbildung 18.2.: Erwarteter Nutzenwert



nativen gleich wäre.

18.1.2.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

18.1.2.2.1. Allgemeine Anforderungen Die KNA kann den in Kapitel 6.1.5 beschriebenen Verhaltensbarrieren der Klimaanpassung entgegenwirken und so zur *Rationalisierung* von Entscheidungen der Klimaanpassung beitragen. Die explizite Wahl der Diskontierungsrate verhindert hyperbolische Diskontierung und damit verbundene zeitliche Inkonsistenzen. Die detaillierte Abfrage monetärer Nutzen- und Kostenbewertungen erfordert eine analytische und systematische Herangehensweise der Benutzer und beugt somit Entscheidungsheuristiken und Verzerrungen vor, die bei schnellen intuitiven Entscheidungen auftreten können. Nur wenn die monetären Nutzen- und Kostenbewertungen grob geschätzt werden, kann es zu Problemen dieser Art kommen. Schätzungen können dann aufgrund des Framing-Effekts von der Fragestellung beeinflusst werden und aufgrund von Ankerheuristiken von irrelevanten Zahlen verzerrt werden. Auch Wahrscheinlichkeiten, die grob geschätzt werden, können aufgrund von Verfügbarkeitsheuristiken durch persönliche Erinnerungen verzerrt werden. Besonders im Anpassungsbereich scheint eine solche Verzerrung wahrscheinlich, da die Wahrscheinlichkeiten von zukünftigen klimatischen Ereignissen aufgrund des Klimawandels nicht denen in der Vergangenheit entsprechen. In Anbetracht der Erkenntnisse der Kognitionspsychologie ist eine grobe Schätzung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen außerdem besonders anfällig für Gewinnoptimismus. Obwohl bei der Verwendung der KNA daher Verhaltensbarrieren nicht auszuschließen sind, tre-

ten sie insgesamt lediglich bei einer starken Vereinfachung der monetären Bewertung auf. Die detaillierte Struktur der KNA, mit Abfrage der monetären Nutzen und Kosten für jeden einzelnen Zeitpunkt der Laufzeit der Maßnahme, lädt nicht zur Abgabe von groben Schätzungen ein. Somit kann der Methode eine hohe rationalisierende Wirkung attestiert werden, vorausgesetzt die Bewertung wird nicht zu stark vereinfacht.

Die KNA eignet sich gut für das *Monitoring* von staatlicher Anpassung, da die Kostenwirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen als eindeutige Kontrollkennzahl verwendet werden kann, die in ihrer Berechnung transparent ist. Eine Ausrichtung staatlicher Anpassungsaktivitäten nach den Ergebnissen der KNA erschwert den Einfluss von Eigeninteressen im Vergleich zur diskretionären Auswahl von Maßnahmen. Die Beeinflussung durch Eigeninteressen kann jedoch ebenso wenig ausgeschlossen werden, da über eine verzerrte monetäre Bewertung von Nutzen und Kosten dennoch Einfluss auf die Entscheidung genommen werden kann. Besonders im politischen Entscheidungsfeld, wo die Wirkung der politischen Instrumente wie Budgets oder Gesetze oft nicht eindeutig ist, bieten solche Kennzahlen, wenn sie überhaupt berechnet werden können, viel Ermessensspielraum. Im administrativen Bereich hingegen ist die Beeinflussung der Kennzahlen schwieriger, da es sich dort oft um spezifische oder technische Maßnahmen mit eindeutigen Kosten und spezifischem Nutzen handelt. Aber auch hier bietet die KNA keine Sicherheit gegen Verzerrung der Bewertungen durch Eigeninteressen verschiedener Interessengruppen.

Eine KNA kann auch bei Unsicherheit unter Zuhilfenahme von Erwartungswerten berechnet werden, indem die möglichen Ausprägungen mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten gewichtet werden. Wenn die Risikopräferenzen der Betroffenen bekannt sind, kann auch der erwartete Nutzen verwendet werden. Es ist relativ einfach mit erwarteten Werten eine Risikobetrachtung in die KNA einzubeziehen, jedoch sind die tatsächlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten im Anpassungsbereich bislang größtenteils unbekannt. Die Klimamodelle liefern keine Eintrittswahrscheinlichkeiten für ihre Prognosen. Die davon abhängigen und weitaus unsichereren Auswirkungen des Klimawandels und die Wirksamkeit der Maßnahmen sind daher höchst ungewiss. Zum Umgang mit dieser Ungewissheit kann die KNA nichts beitragen. Die Anforderungen nach *Anwendbarkeit unter Unsicherheit oder Ungewissheit* werden daher nur teilweise erfüllt.

Die KNA eignet sich methodisch zur *Priorisierung* von Maßnahmen, da diese anhand einer eindeutigen Entscheidungsvariable, zum Beispiel dem Kapitalwert, geordnet werden können.⁶ Beinhalten die monetären Bewertungen alle entscheidungsrelevanten Aspekte, dann entspricht diese Priorisierung einer Ordnung der Anpassungsmaßnahmen nach ihrer ökonomischen Effizienz. Weiter kann auch eine *Auswahlproblematik* mittels der KNA gelöst werden. Zum Beispiel

⁶ Diese Aussage setzt voraus, dass die der KNA methodisch vorgelagerte monetäre Bewertung möglich ist. Diese scheint, wie bereits besprochen, im politischen Entscheidungsfeld schwierig umsetzbar. Besonders der Nutzen politischer Instrumente ist sehr vielseitig und betrifft eine Vielzahl ökonomischer Akteure, sodass eine monetäre Bewertung zu komplex erscheint. Hier soll jedoch die methodische Fähigkeit der KNA zur Priorisierung gesondert betrachtet werden. Die Eignung der Methode zur Berücksichtigung der relevanten Informationen durch monetäre Bewertung wird bei der Anforderung nach *informationeller Kompatibilität* untersucht.

kann die Handlungsalternative mit dem höchsten Kapitalwert ausgewählt werden. Handelt es sich zudem um ein Entscheidungsproblem mit einem eindeutig beschränkten Budget, wie es im administrativen Bereich oft der Fall ist, dann können die gemäß Kapitalwert vorteilhaftesten Maßnahmen ausgewählt werden. Zur Lösung der *Sortierungsproblematik* kann hingegen zum Beispiel nach rentablen und unrentablen Maßnahmen kategorisiert werden. Rentable Alternativen sind diejenigen mit einem positiven Kapitalwert, bei denen der Nutzen die Kosten übersteigt. Zur Lösung einer *Portfolioproblematik* kann die KNA jedoch nicht eingesetzt werden, da weder die Varianz der Bewertungen noch die Korrelation zwischen den Alternativen beachtet werden kann. Damit können neben der Rangfolgenproblematik insgesamt zwei der zusätzlichen Entscheidungsproblematiken mit der KNA gelöst werden.

Eine geringe Konsistenz verringert in den Augen der Bevölkerung die *prozedurale Fairness* und damit sinkt die Akzeptanz der Entscheidung. Während die Entscheidungsregel, nach welcher bei der KNA entschieden wird, relativ einfach ist - es wird nach dem besten Verhältnis zwischen monetärem Nutzen und monetären Kosten entschieden - kann die monetäre Bewertung von Kosten und Nutzen durchaus kompliziert sein. Man kann davon ausgehen, dass die wahrgenommene *Konsistenz* einer KNA mit einer nicht nachvollziehbaren monetären Bewertung des Nutzens nicht besonders hoch ausfallen wird, selbst wenn die Entscheidungsregel an sich relativ einfach und konsistent ist. Je komplizierter also die Bewertungsmethoden desto wahrscheinlicher ist es, dass sie nicht verstanden werden und vermeintliche Inkonsistenzen auftauchen. Auch die Verwendung unterschiedlicher Bewertungsmethoden könnte denselben Effekt haben. Wird zum Beispiel für die Bewertung des Verlustes der Biodiversität bei einer Maßnahme der hedonistische Preisansatz verwendet während bei einer anderen Maßnahme der Reisekostenansatz gewählt wird, dann könnte dies die wahrgenommene Konsistenz der KNA mindern. Für das Wahrnehmen solcher Details muss die Bewertung jedoch sehr genau inspiziert werden, wovon im Normalfall nicht auszugehen ist. Allein die Komplexität der monetären Bewertungen kann jedoch zu wahrgenommener Inkonsistenz führen. Für die breite Bevölkerung dürfte die monetäre Bewertung des Nutzens von sowohl politischen als auch administrativen Anpassungsmaßnahmen derart kompliziert wirken, dass sie unter Umständen als inkonsistent wahrgenommen wird. Die *Korrigierbarkeit* der KNA ist insgesamt hoch. Sowohl einzelne Kosten- als auch Nutzenbewertungen können ausgetauscht werden, ohne die komplette Bewertung wiederholen zu müssen. Monetäre Bewertungen sollen zwar theoretisch zur Objektivierung der Entscheidung beitragen, sie schließen jedoch den Einfluss von *Voreingenommenheiten* der bewertenden Personen nicht aus, was die wahrgenommene prozedurale Fairness mindert. Sowohl im politischen als auch im administrativem Entscheidungsfeld bleiben bei der monetären Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen für die bewertenden Personen Spielräume offen, so dass die KNA keinen Eindruck von Unvoreingenommenheit vermittelt. Die wahrgenommene *Genauigkeit* der KNA hängt wesentlich von der Anwendbarkeit einer monetären Bewertung und damit vom Einsatzgebiet ab. Während die monetäre Bewertung von technischen Maßnahmen oder überschaubaren Projekten im administrativem Bereich durchaus den Eindruck von

Genauigkeit vermitteln kann, wirkt zum Beispiel eine monetäre Bewertung des Nutzens der Vergabe von Forschungsbudgets im politischen Entscheidungsfeld ungenauer. Somit wird dieser Aspekt der prozeduralen Fairness von der KNA eher im administrativen Entscheidungsfeld als im politischen Entscheidungsfeld erfüllt. Gleiches gilt für die *Repräsentativität*: Zwar könnte bei idealer monetärer Bewertung unter Einbezug aller relevanten sozialen Kosten und Nutzen eine Entscheidung mittels KNA perfekt repräsentativ sein, jedoch erscheint eine solche Bewertung besonders im politischen Entscheidungsfeld extrem schwierig, da durch die Vielfältigkeit der Maßnahmen auch eine Vielzahl von Effekten und Stakeholdern abgedeckt werden müsste. Somit ist Repräsentativität eher im administrativem als im politischen Entscheidungsfeld gegeben. Insgesamt hängt die wahrgenommene prozedurale Fairness wesentlich von der monetären Bewertung bei einer KNA ab. Je verständlicher eine solche Bewertung ist desto höher dürfte die prozedurale Fairness erscheinen. Es bestehen jedoch besonders im politischen Entscheidungsfeld zahlreiche Schwierigkeiten, die eher eine niedrige wahrgenommene prozedurale Fairness von KNA erwarten lassen. Im politischen Bereich wird entsprechend nur eine Determinante prozeduraler Fairness erfüllt, während im administrativen Bereich drei erfüllt werden.

Ähnliches gilt für die *interaktionale Fairness* einer KNA. Die Beschränkung auf zwei Entscheidungsvariablen, Kosten und Nutzen, vereinfacht theoretisch die Bereitstellung notwendiger Informationen an Stakeholder. Mit der Komplexität der Bewertung steigt jedoch die Komplexität der bereitzustellenden Informationen, da diese sonst nicht nachvollziehbar sind. Die thematische Vielfalt der zur Auswahl stehenden Maßnahmen und der unspezifischere Wirkungsbereich lassen eine höhere Komplexität der monetären Bewertungen im politischen Bereich erwarten. Die bestehenden Erwartungen hingegen sind bei der KNA in beiden Entscheidungsfeldern relativ leicht zu formulieren: der Nutzen einer Maßnahmen sollte ihre Kosten übersteigen. Insgesamt erfüllt die KNA also eine von zwei Determinanten der interaktionalen Fairness im administrativen Entscheidungsfeld und eine im politischen Entscheidungsfeld.

Die *Robustheit* der Entscheidung ist bei der KNA mittels einer Sensitivitätsanalyse überprüfbar. Neben der Variation des Diskontierungsfaktors könnten so auch einzelne Bewertungen von Kosten- und Nutzenpositionen auf die Beeinflussung des Ergebnisses hin überprüft werden. Somit ist eine relativ einfache Lösung möglich, die jedoch nicht expliziter Teil der Entscheidungsmethode ist. Daher wird die Anforderung nur teilweise erfüllt.

18.1.2.2.2. Politikbetonte Anforderungen Die offensichtlichste Einschränkung der *informationellen Kompatibilität* der KNA ist, dass alle einbezieharen Informationen in Geldeinheiten ausgedrückt werden müssen. Auf die Schwierigkeiten bei der monetären Bewertung im Kontext von Klimawandelanpassung wurde in der wissenschaftlichen Literatur bereits oft aufmerksam gemacht. Besonders die Auswirkungen des Klimawandels in nicht-marktgängigen Sektoren wie Gesundheit, Kulturerbe, Umweltqualität oder Ökosystemdienstleistungen sind schwer zu bewerten (IPCC, 2014a, S. 956). So ist es zum Beispiel sehr umstritten, das Leben von Menschen monetär zu erfassen (Viscusi & Aldy, 2003). Weiter werden der Aufbau von

Anpassungskapazität und nicht-technische Maßnahmen bei der KNA-Bewertung benachteiligt, da sie besonders schwer zu quantifizieren sind (Watkiss et al., 2014). Sind Marktpreise gegeben, müssen diese wiederum bei der Bewertung von Verzerrungen durch staatliche Aktivitäten, Monopolmacht oder andere Verzerrungen bereinigt werden (Squire et al., 1975). Die monetäre Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen erfordert außerdem die Aufstellung von Basis-Szenarios ohne Anpassung, um aus der Differenz zum Effekt der Maßnahme ihren Nutzen zu berechnen. Besonders im Bereich der Anpassung stellt sich die Aufstellung vom Basis-Szenario als schwierig dar, da sie sektor- und ortsabhängig ist, und da die autonome Anpassung vorhergesagt werden muss (UNEP, 2013). Insgesamt lässt sich von diesen Ergebnissen darauf schließen, dass der Monetarisierungszwang die informationelle Kompatibilität der KNA mindert. Besonders im politischen Entscheidungsfeld der Klimaanpassung dürfte die monetäre Bewertung ungeeignet sein, um die Nutzeneffekte der Maßnahmen (Budgets und Gesetze) zu bewerten. Zudem monieren manche Arbeiten, dass sich mit der KNA keine Verteilungseffekte der Maßnahmen berücksichtigen lassen (Watkiss et al., 2009; UNEP, 2013), da die Kosten und Nutzen aggregiert werden. Theoretisch könnten Verteilungseffekte berücksichtigt werden, indem höhere Gewichte für Maßnahmen gewählt werden, die ärmere Bevölkerungsschichten betreffen (Harberger, 1984), jedoch sind die Präferenzen diesbezüglich sehr unterschiedlich und nicht mittels KNA erfassbar. Insgesamt ist die informationelle Kompatibilität für die Klimawandelanpassung durch die Berücksichtbarkeit der verschiedenen Nutzeneffekte zwar größer als bei der KWA, aber dennoch gering.

Während die notwendige Monetarisierung einen Nachteil bei prozeduraler Fairness, interaktionaler Fairness und informationeller Kompatibilität bedeutet, bringt dieses Vorgehen gleichzeitig Vorteile für die *informationelle Flexibilität* der Methode mit sich, da die KNA unabhängig von der Anzahl der einfließenden Kosten- Nutzenwerte funktioniert, sobald mindestens eine Wertposition je auf Kosten- und Nutzenseite pro Anpassungsmaßnahme vorhanden ist. Lücken in den Bewertungen und Inkonsistenzen aufgrund der Verwendung unvergleichbarer Daten können jedoch die Qualität der KNA-Methode erheblich mindern, bis hin zur Nicht-Interpretierbarkeit des Ergebnisses. Zudem kann nicht auf qualitative Bewertungen oder Spannen bei Nichtverfügbarkeit der Daten ausgewichen werden. Die informationelle Flexibilität der KNA ist daher lediglich mittelmäßig.

Die KNA kann insoweit politische Interessen bedienen, als sie der Anpassungspolitik Optimalität oder Effizienz bescheinigen kann. Dieses Argument kann sowohl bei politischen Verhandlungen mit der Opposition als auch als Wahlargument verwendet werden. Gleichzeitig schränkt die strikte monetäre Bewertung aller Entscheidungsaspekte und die Beschränkung auf nur zwei Entscheidungsvariablen (Kosten und Nutzen) den diskretionären Spielraum der politischen Entscheider stark ein. Somit wird die Anforderung nach Bedienung politischer Interessen nur teilweise erfüllt.

18.1.2.2.3. Praxisbetonte Anforderungen Wie bei dem Kapitel zu prozeduraler und interaktionaler Fairness bereits erläutert wurde, ist die Entscheidungsregel der KNA leicht verständlich. Das Grundprinzip, dass Nutzen und Kosten gegeneinander aufgewogen werden, und dass die Alternativen mit dem größten Nettonutzen gewählt werden, ist relativ simpel. Ist die monetäre Bewertung jedoch kompliziert, dann ist die darauf basierende KNA dennoch schwer verständlich. Dies ist in der Klimawandelanpassung der Fall, wenn zum Beispiel bei fehlenden Marktpreisen Methoden offener und geäußelter Präferenzen wie der hedonische Preisansatz, die Reisekostenmethode oder die kontingente Bewertungsmethode verwendet werden, welche schwer verständlich sind. Sind die Kosten für die Umsetzung einer Maßnahme bekannt und lässt sich der Nutzen mit Marktpreisen und sicheren Wahrscheinlichkeiten beziffern, dann kann die monetäre Bewertung bei der KNA dennoch schwer verständlich sein. Dies lässt sich gut am Beispiel eines Deichbaus verdeutlichen. Der Nutzen des Deichbaus ist der in Zukunft vermiedene Schaden in Euro. Die Berechnung des zukünftigen Schadens bei Nichtbau des Deiches ist jedoch höchst komplex. Allein die Berechnung eines aktuellen Schadens bei einem gewissen Wasserstand unter Zuhilfenahme von Bebauungsstatistiken und topographischen Informationen ist nicht ohne weiteres realisierbar. Noch schwieriger wird es bei der Projektion dieser Daten in die Zukunft und bei der Berechnung von Wahrscheinlichkeiten für Hochwasserstände. Selbst unter der Annahme, all diese Daten seien ohne Weiteres verfügbar, ist ihr Zusammenführen in eine monetäre Bewertung demnach kompliziert. Der Komplexität sind allein in diesem einfachen Beispiel nach oben kaum Grenzen gesetzt. Insgesamt ist die Verständlichkeit der KNA abhängig von der Art des Entscheidungsproblems und der dazugehörigen Datenlage.

Der *Implementierungsaufwand* hängt in gleicher Weise wie die Verständlichkeit von dem Detail- und Schwierigkeitsgrad der Monetarisierung ab. Auch bei höchster Vereinfachung der Monetarisierung ist der Implementierungsaufwand erwartungsweise hoch, da im Gegensatz zu physikalischem Nutzen und Kosten einer Anpassungsmaßnahme der monetäre Nutzen nicht von extern eingeholt werden kann, sondern im Normalfall selbst bestimmt werden muss. Sollen Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden, erhöht sich dieser Aufwand zudem erheblich. Es ist also mindestens mit einem mittleren bis hohen Implementierungsaufwand zu rechnen.

Theoretisch ist die Partizipation der Stakeholder an der Erstellung einer KNA möglich. So könnten individuelle Nutzen und Kosten einer Maßnahme einzeln abgefragt werden, um dann aggregiert in die Entscheidungsfindung einzufließen. Jedoch erweist sich auch hier die Monetarisierung als Schwierigkeit. Es dürfte sehr schwierig sein, alle relevanten individuellen Nutzen- und Kosteneffekte zu berücksichtigen und auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Dies dürfte die meistens ohnehin aufwendige monetäre Bewertung erheblich verkomplizieren. Es besteht für den einzelnen Stakeholder der Anreiz zur Falschangabe, um die Entscheidung zu seinen eigenen Gunsten zu beeinflussen. Die KNA enthält keinen Mechanismus um die Offenbarung der wahren Präferenzen zu erreichen. Zudem ist eine Partizipation der Stakeholder bei der KNA nicht explizit vorgesehen und nicht für die Kommunikation mit diesen ausgelegt. Die Auswahl des Diskontierungsfaktors oder der zu berücksichtigenden Nutzen- und Kostenbestandteile bie-

tet sich aufgrund der Detailgenauigkeit der Parameter nicht besonders gut zur Diskussion mit den Stakeholdern an. Insgesamt eignet sich die KNA bei der staatlichen Anpassung weder im politischen noch im administrativen Entscheidungsfeld zur Partizipation.

18.1.3. Portfoliotheorie

Die Portfoliotheorie oder moderne Portfoliotheorie (MPT) stammt ursprünglich aus der Investmentoptimierung an Wertpapiermärkten und geht mathematisch auf die nobelpreisprämierte Arbeit von Markowitz (1952) zurück. Die Optimierung in der Portfoliotheorie nimmt sich dabei explizit der Abwägung zwischen Rendite und Risiko an. Markowitz (1952) zeigt dabei, dass ein Portfolio aus Wertpapieren mit korrelierten Renditen vorteilhafter sein kann als die Investition in ein einziges Wertpapier. Dieser Portfolioansatz lässt sich auch auf die „Investitionsentscheidung“ bezüglich verschiedener Anpassungsmaßnahmen übertragen. Mehrere wissenschaftliche Arbeiten haben dies bereits getan (Aerts et al., 2008; Crowe & Parker, 2008).

18.1.3.1. Verfahren

Portfolio-Analysen werden grundsätzlich als Ein-Perioden-Modell dargestellt.⁷ Angenommen es gibt n verschiedene Anpassungsmaßnahmen mit Investitionsbedarfen I_i im Anfangszeitpunkt $t = 0$ und Netto-Nutzen von $Y_i(T) = N_i(T) - K_i(T)$ im Endzeitpunkt $t = T$, die unsicher sind und je nach Umweltzustand mit einer Wahrscheinlichkeit von p_k variieren. Dann lässt sich die Rendite der einzelnen Maßnahmen wie folgt definieren:

$$R_i(T) = \frac{Y_i(T) - I_i}{I_i}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Der Netto-Nutzen $Y_i(T)$ und die Anfangsinvestition I_i werden hierbei ebenso wie bei der KNA in Geldeinheiten gemessen. Alternativ kann man den Netto-Nutzen $Y_i(T)$ auch anhand einer physikalischen Messgröße erfassen, dann passt jedoch der Renditebegriff nicht mehr und es kann zu negativen oder nicht interpretierbaren Renditen führen. Solange jedoch alle Maßnahmen in den gleichen Einheiten beziffert werden, kann die Portfolio-Analyse auch mit physikalischen Messgrößen vollzogen werden. Beschränkungen ergeben sich dann jedoch eventuell bei der Optimierung des Portfolios, die in der Regel von positiven Renditen ausgeht.

Des Weiteren bezeichnen wir die Erwartungswerte, Varianzen, Kovarianzen und Korrelationen dieser Renditen mit:

$$E(R_i(T)) = \mu_i = \sum_{k=0}^m p_k \cdot R_{i,k}(T) \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\text{Cov}(R_i(T), R_j(T)) = \sigma_{ij} = \sum_{k=0}^m p_k \cdot (R_{i,k}(T) - \mu_i) \cdot (R_{j,k}(T) - \mu_j) \quad i, j = 1, \dots, n.$$

⁷ Siehe Trautmann (2007) und Korn (2014) für eine detailliertere mathematische Darstellung dieses Ansatzes.

$$\rho_{ij} = \sqrt{\frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj}}}$$

Die Investitionen in Anpassungsmaßnahmen seien frei stückelbar, sodass in beliebige positive Anteile $\theta_i \in \mathbb{R}^{\geq 0}$ an der Maßnahme i investiert werden kann. Der Netto-Nutzen der Maßnahme verhält sich dem Investitionsanteil entsprechend linear, d. h. bei einer Investition von γ_i in Maßnahme i ergibt sich ein Nutzen von $\theta_i \cdot Y_i(T)$.

Bei einem Investitionsbudget von x erhalten wir folgende Budgetgleichung für das Portfolio:

$$\sum_{i=1}^d \theta_i \cdot I_i = x.$$

Der Vektor $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_d)'$ mit den Portfolioanteilen bzw. den Anteilen der einzelnen Maßnahmen am Gesamtbudget, berechnet sich dann wie folgt:

$$\gamma_i = \frac{\theta_i \cdot I_i}{x}, \text{ wobei } \sum_{i=1}^n \gamma_i = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i \cdot I_i}{x} = \frac{x}{x} = 1.$$

Die Portfoliorendite R^γ ergibt sich dann als:

$$R^\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot R_i(T).$$

Wenn wir den Portfoliogesamtnutzen mit $X^\gamma(T) = \sum_{i=1}^n \theta_i \cdot Y_i(T)$ bezeichnen, zeigt sich warum die Bezeichnung Portfoliorendite geeignet ist:

$$R^\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i \cdot I_i}{x} \cdot \frac{Y_i(T) - I_i}{I_i} = \frac{X^\gamma(T) - x}{x}.$$

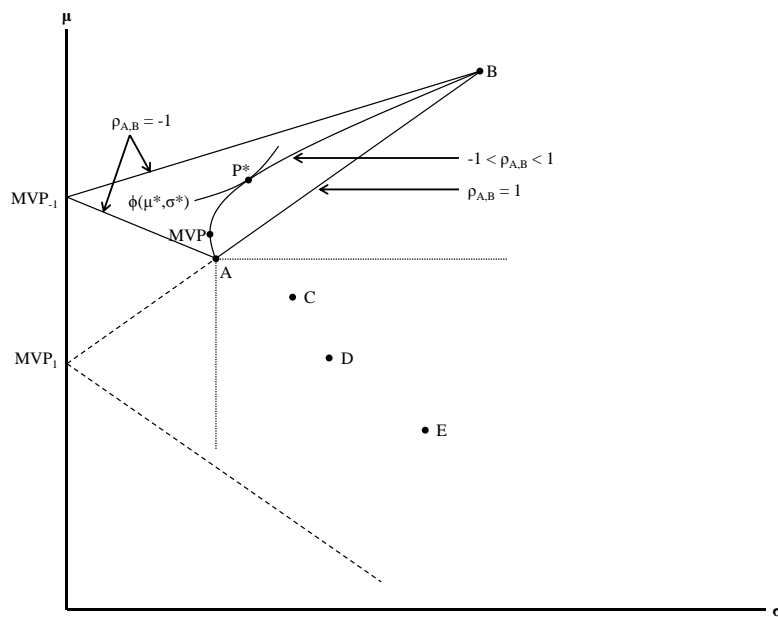
Der Erwartungswert der Portfoliorendite und ihre Varianz berechnen sich wie folgt:

$$E(R^\gamma) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \mu_i = \mu' \gamma,$$

$$Var(R^\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_i \cdot \sigma_{ij} \cdot \gamma_j = \gamma' \sigma \gamma.$$

Die Aufteilung der Investition in mehrere Anlagen mit nicht perfekt korrelierten Renditen führt zur Verminderung des Risikos durch den sogenannten *Diversifikationseffekt*. Dies kann an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden. Angenommen wir haben zwei unabhängige Alternativen mit gleicher Varianz und gleichem Erwartungswert ($n = 2, \mu_1 = \mu_2, \sigma_{11} = \sigma_{22} = 1, \sigma_{12} = \sigma_{21} = 0$). Investieren wir zu gleichen Teilen in beide Maßnahmen ($\gamma_1 = \gamma_2 = 1/2$), dann erhalten wir bei gleicher Erwartungsrendite ($E(R^\gamma) = \frac{1}{2} \cdot \mu_1 + \frac{1}{2} \cdot \mu_2 = \mu_1 = \mu_2$) eine geringere Varianz im Portfolio ($Var(R^\gamma) = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{11} + \frac{1}{4} \cdot \sigma_{22} = \frac{1}{2}$), als sie in einer der beiden Anlagen möglich gewesen wäre. Dieser Diversifikationseffekt gilt auch für mehrere Anlagen ($n > 2$).

Abbildung 18.3.: Portfolio Analyse



und ist stärker, je niedriger die Korrelation unter den Anlagen (hier maximal bei $\rho_{ij} = -1$, dann wäre $\text{Var}(R^y) = 0$).

18.1.3.1.1. Portfolioauswahl Lässt man bei der Auswahl eines Portfolios das Risiko außer Acht, dann ist die optimale Investmentstrategie nur in die rentabelste Anlage zu investieren. Da jedoch die rentabelsten Anlagen zumeist auch die riskantesten sind, nahm Markowitz (1952) neben dem Erwartungswert auch die Varianz der Portfoliorendite als Zielkriterium für Risiko in die Optimierung mit auf.

Bestimmte Anlagen werden in diesem *Erwartungswert-Varianz-Ansatz* von anderen von vornherein dominiert und fließen überhaupt nicht in das optimale Portfolio ein, wenn

$$E(R_i) \geq E(R_j) \text{ und } \text{Var}(R_i) < \text{Var}(R_j)$$

oder

$$E(R_i) > E(R_j) \text{ und } \text{Var}(R_i) \leq \text{Var}(R_j).$$

In Abbildung 18.3 dominiert zum Beispiel Anlage A die Anlagen C, D und E. Selber wird Anlage A nicht dominiert und ist im Sinne von Pareto damit effizient. Die verschiedenen Portfolios als Mischungen von Anlagen A und B sind ebenso effizient. Die Linien zwischen Anlage A und Anlage B stellen die (μ, σ) -effizienten Linien je nach Korrelation zwischen den beiden Anlagen dar. Mit abnehmender Korrelation ist ein steigender Diversifikationseffekt der Portfoliobildung erkennbar. Bei perfekter negativer Korrelation der beiden Anlagen ist sogar ein Minimum-Varianz-Portfolio (MVP_{-1}) mit Null-Varianz erreichbar.

Zur Optimierung des Portfolios müssen eindeutige Risikopräferenzen in funktionaler Form (z. B. $\phi(\mu, \sigma) = \mu - \frac{\alpha}{2} \sigma^2$ mit $\alpha > 0$) festgelegt werden, sodass von der (μ, σ) -effizienten Li-

nie ein eindeutiges Portfolio ausgesucht werden kann. In Abbildung 18.3 stellt P^* das optimale Portfolio für solche Präferenzen und eine Korrelation der beiden Anlagen von $0 < \rho_{1,2} < 1$ dar. Dieses liegt am Berührungspunkt der (μ, σ) -effizienten Linie mit der äußersten Indifferenzkurve von $\phi(\mu, \sigma)$.

Markowitz (1952) schlägt auch eine andere Lösung des Optimierungsproblems vor: Schranken für Portfoliorendite und -varianz. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder man setzt eine untere Schranke für den Erwartungswert der Portfoliorendite fest und minimiert unter dieser Nebenbedingung die Portfoliovarianz oder man setzt eine obere Schranke für die Portfoliovarianz und maximiert die Portfoliorendite.

$$\max_{\gamma \in \mathbb{R}^n} E(R^\gamma) \quad \text{s.t. } \gamma_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, \text{Var}(R^\gamma) \leq c_1$$

$$\min_{\gamma \in \mathbb{R}^n} \text{Var}(R^\gamma) \quad \text{s.t. } \gamma_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, E(R^\gamma) \geq c_2$$

Besitzt die Kovarianzmatrix σ bestimmte Eigenschaften, dann haben beide Optimierungsprobleme eindeutige Lösungen, d. h., es gibt ein Portfolio, das bei gegebener Mindestrendite die Varianz minimiert oder bei gegebener Maximalvarianz die Rendite maximiert.⁸

18.1.3.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

18.1.3.2.1. Allgemeine Anforderungen Die *rationalisierende Wirkung* der Portfolio-Analyse ist insgesamt niedriger als bei der KWA und der KNA. Zwar kann es bei der Portfolio-Analyse theoretisch nicht zu hyperbolischer Diskontierung kommen, da nur gleiche Laufzeiten verglichen werden und nicht diskontiert wird, dennoch kann gerade dieser statische Ansatz zu zeitlichen Inkonsistenzen führen (siehe dazu weiter unten den Absatz zu *informationelle Kompatibilität*). Ob Verzerrungen durch Entscheidungsheuristiken auftreten können, hängt von der Berechnung der Renditen und den Eintrittswahrscheinlichkeiten ab. Solche Bewertungen sind normalerweise das Ergebnis längerer analytischer Untersuchungen. Werden diese lediglich grob geschätzt, kann es wie bei KWA und KNA zu entsprechenden kognitiven Verzerrungen kommen. Dabei ist bei der Abfrage die Verzerrung der Nettonutzen und damit Renditen durch Ankerheuristik und Framing-Effekt denkbar. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten können durch Verfügbarkeitsheuristiken verzerrt werden. Zudem ist die Schätzung des Nettonutzens für Gewinnoptimismus und bei bereits laufenden Maßnahmen für eskalierendes Commitment anfällig.

Auch für das *Monitoring* der staatlichen Anpassungsaktivitäten eignet sich die Portfolio-Analyse weniger als die beiden zuvor beschriebenen Methoden. Ebenso wie die KWA und KNA kann die Portfolio-Analyse zwar politökonomische Barrieren teilweise überwinden, da sie die Einflussnahme von politischen Eigeninteressen und Interessengruppen erschwert, den-

⁸ Zu Details dieser Eigenschaften von σ siehe Korn (2014, S. 4-5).

noch bleiben Einflussmöglichkeiten bei dem vorangestellten Monetarisierungsprozess erhalten. Auch bei der Portfolio-Analyse bleibt zu erwarten, dass diese Einflussmöglichkeiten im politischen Entscheidungsfeld größer sind als im administrativem Entscheidungsfeld, da die Wirkung politischer Instrumente diffuser ist. Die Portfolio-Analyse liefert jedoch im Gegensatz zu KWA und KNA keine einheitliche, transparente, leicht zu verwendende Kennzahl, mit der sich der Ist-Stand der staatlichen Anpassung direkt mit einem optimalem Referenzstand vergleichen ließe. Die Second-Best-Gewichtung kann stark von dem Optimalportfolio der First-Best-Lösung abweichen und daher kann die Abweichung von den optimalen Portfoliogewichten nicht eindeutig interpretiert werden. Auch die isolierte Betrachtung der einzelnen Portfoliogewichte ist nicht möglich. Somit lässt sich die Portfolio-Analyse nur zu einem „dichotomen“ Monitoring verwenden, bei welchem die Frage geprüft werden kann: „Hat die staatliche Instanz das optimale Anpassungsportfolio gewählt oder nicht?“ Nicht beantworten lassen sich Fragen wie: „Wie effizient ist die staatliche Anpassung?“ oder „Ist die staatliche Anpassung stark von Eigeninteressen beeinflusst?“ Insgesamt eignet sich die Portfolio-Analyse nur bedingt für das Monitoring der administrativen Anpassung und nicht für das Monitoring der politischen Anpassung.

Die Portfolio-Analyse wurde mitunter entwickelt, um Unsicherheit zu berücksichtigen. Jedoch bedarf die Methode eindeutiger Wahrscheinlichkeiten und ist somit bei Ungewissheit nicht anwendbar. Spezifische Wahrscheinlichkeiten sind, wie bereits erwähnt, im Bereich der Klimaanpassung kaum gegeben. Somit erfüllt die Portfolio-Analyse diese Anforderung nur teilweise.

Zur *Priorisierung* ist die Portfolio-Analyse insofern geeignet, als sie unter Berücksichtigung von Rendite, Varianz und Kovarianz bestimmte Alternativen zu unterschiedlichen Anteilen auswählt.⁹ Je höher der optimale Anteil einer Maßnahme am gesamten Anpassungsbudget desto wichtiger ist diese Maßnahme. Die optimalen Portfolio-Anteile lassen sich als Ranking darstellen, um zu verdeutlichen, welche Maßnahmen mehr und welche weniger genutzt werden sollten. Allerdings ist bei einer solchen Darstellung zu betonen, dass diese Anteile oder Gewichte nur bei Investition in das gesamte Portfolio optimal sind und Teilinvestitionen, zum Beispiel in die drei Maßnahmen mit den höchsten Portfolio-Gewichten, keinem Optimalitätsanspruch genügen. Wenn jedoch bereits bei der Optimierung ein konkretes Budget verwendet wird, dann kann die Portfolio-Analyse zur Priorisierung von Handlungsalternativen herangezogen werden, da das Portfolio dem Budget entsprechend optimiert wird und in das gesamte Portfolio investiert wird. Je höher das Portfoliogewicht einer Alternative desto höher ihr Rang. Die Erstellung einer Rangfolge, in die komplett investiert werden muss, ist jedoch nicht Zweck einer Priorisierung. Eine Priorisierung ist hilfreich, da sie es für jedes Budget ermöglicht, eine Auswahl zu treffen. Eine Priorisierung ist deshalb nur eingeschränkt, mit Beschränkung auf Ausnutzung eines fixen Budgets, möglich. Auch *weitere Entscheidungsproblematiken* lassen sich mit der Portfolio-Analyse behandeln. Die Portfolio-Analyse ist zur Lösung der Auswahl-

⁹ Ob die Berechnung dieser Renditen, Varianzen und Kovarianzen möglich ist, wird bei der Anforderung nach *informationeller Kompatibilität* untersucht.

Problematik geeignet, wenn ein Budget gegeben ist. Dann können die Handlungsalternativen zu bestimmten Anteilen ausgewählt werden. Die Portfolio-Problematik ist die Standardanwendung der Portfolio-Analyse. Die Synergien und Konflikte der einzelnen Handlungsalternativen werden mittels der Korrelationen der Renditen beachtet und mit in die Entscheidung einbezogen. Inwiefern die Renditen und Korrelationen im Anpassungsbereich berechnet werden können, wird weiter unten bezüglich der informationellen Kompatibilität der Portfolio-Analyse untersucht. Rein methodisch ist die Lösung der Portfolioproblematik und Auswahlproblematik mittels Portfolio-Analyse jedoch möglich. Eine Sortierungsproblematik hingegen kann mit der Portfolio-Analyse nicht gelöst werden.

Die *prozedurale Fairness* der Portfolio-Analyse unterscheidet sich nur geringfügig von der der KNA, da sich beide Methoden sehr ähnlich sind und eine KNA der Portfolio-Analyse im Wesentlichen vorangestellt ist. Die wahrgenommene *Konsistenz* der Methode ist abhängig von der wahrgenommenen Konsistenz der Berechnung der Renditen und der verwendeten Wahrscheinlichkeiten. Diese wiederum basieren auf der monetären Bewertung des Nutzens und der Kosten der Handlungsalternativen. Da die monetäre Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen sowohl im politischen als auch im administrativem Entscheidungsfeld für die breite Bevölkerung in der Regel nur schwer nachvollziehbar sein dürfte, kann nicht von einer prinzipiell konsistenten Wirkung der Portfolio-Analyse auf die Bevölkerung ausgegangen werden. Die *Korrigierbarkeit* der Portfolio-Analyse ist ebenso hoch wie die der KNA. Einzelne Kosten- oder Nutzenbewertungen können ausgetauscht werden ohne die Bewertung komplett wiederholen zu müssen. Die dann nötige Neuberechnung der Renditen, Varianzen und Kovarianzen, ist lediglich ein formaler Rechenschritt, der einfach vorgenommen werden kann. Die strikte Quantifizierung erschwert zwar den Einfluss von *Voreingenommenheiten* und erhöht die Objektivität, die monetäre Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen lässt wie bei der KNA jedoch genug Einflussmöglichkeiten, sodass auch dieser Anforderung der prozeduralen Fairness sowohl im politischen als auch im administrativen Entscheidungsfeld nicht entsprochen wird. Die wahrgenommene *Genauigkeit* leidet besonders bei einem Einsatz der KNA im politischen Entscheidungsfeld unter den Schwierigkeiten bei der Monetarisierung von nicht-marktgängigen Nutzen und distributiven Aspekten. Im administrativen Entscheidungsfeld kann bei technischen Maßnahmen jedoch sehr wohl der Eindruck entstehen, die Portfolio-Analyse sei eine genaue Methode. Die *Repräsentativität* der Portfolio-Analyse ist abhängig von der Einbeziehung der Effekte der Maßnahmen auf alle Stakeholder. Wie bei der KNA ist dies im Rahmen der monetären Bewertung von Kosten und Nutzen theoretisch möglich. Bei spezifischen Maßnahmen mit einem kleinen Wirkungsbereich im administrativem Entscheidungsfeld ist vorstellbar, dass die monetäre Bewertung alle Effekte repräsentativ abbildet. Im politischen Entscheidungsfeld hingegen, wo die Wirkungsrelationen von politischen Instrumenten, wie Gesetzen oder Budgetvergaben, oftmals unklar sind und eine Vielzahl verschiedener Stakeholder von der Entscheidung betroffen ist, ist eine repräsentativ wirkende Bewertung nur schwer zu erreichen. Insgesamt erfüllt die Portfolio-Analyse im politischen Entscheidungsfeld keine der

Determinanten prozeduraler Fairness, während im administrativem Entscheidungsfeld zwei der fünf Determinanten prozeduraler Fairness erfüllt werden.

Für die Portfolio-Analyse gilt ebenso wie für die KNA: Je höher die Komplexität der monetären Bewertung desto schwieriger ist die Bereitstellung der zum Nachvollziehen der Entscheidung notwendigen Informationen und somit desto geringer ist die wahrgenommene *interaktionale Fairness*. Die Komplexität ist aufgrund der thematischen Vielfalt und des größeren Wirkungsbereichs im politischen Entscheidungsfeld tendenziell größer als im administrativen Entscheidungsfeld. Wegen der komplizierten Optimierung des Portfolios gestaltet sich die Bereitstellung notwendiger Informationen zum Nachvollziehen der Entscheidung jedoch sogar in beiden Entscheidungsfeldern schwieriger als bei der KNA. Die bestehenden Erwartungen sind dennoch ebenso leicht zu formulieren: Es soll zwischen Nutzen, Kosten und Risiko abgewogen werden. Die entsprechenden Kriterien sind leicht zu vermitteln. Insgesamt bedient die Portfolio-Analyse also eine von zwei Determinanten von *interaktionaler Fairness*.

Auch bei der Portfolio-Methode kann eine Sensitivitätsanalyse angewandt werden, um die *Robustheit der Entscheidung* zu überprüfen (Best & Grauer, 1991). Es kann die Sensitivität des Ergebnisses auf die Renditen, gewählten Rendite- bzw. Varianzschranken oder die Präferenzfunktionsparameter untersucht werden. Auch die Portfolio-Analyse bietet dafür jedoch methodisch keine explizite Lösung - eine Sensitivitätsanalyse muss zusätzlich konzipiert werden. Damit entspricht die Portfolio-Analyse auch dieser Anforderung nur teilweise.

18.1.3.2.2. Politikbetonte Anforderungen Die Portfolio-Analyse weist die gleichen Einschränkungen bezüglich der *informationellen Kompatibilität* auf wie die KNA: Schwierigkeiten bei der Monetarisierung von nicht-marktverbundenen Auswirkungen, nicht-technischen Maßnahmen und Verteilungseffekten. Diese treten erwartungsweise im politischen Entscheidungsfeld der Klimaanpassung öfter auf als im administrativen Entscheidungsfeld. Eine zusätzliche und gleichzeitig die wichtigste Einschränkung der informationellen Kompatibilität ist bei der Portfolio-Analyse hingegen die statische Natur ihres konzeptionellen Ansatzes. Der Aufbau der Portfolio-Analyse verlangt, dass sich die Renditen auf einen gemeinsamen Zeitraum beziehen (von $t = 0$ bis $t = T$). Eine zeitlich vielfältige Struktur der anfallenden Kosten und Nutzen der verschiedenen Maßnahmen lässt sich nicht explizit berücksichtigen.¹⁰ Zwei Maßnahmen mit unterschiedlichen Laufzeiten sind mittels Portfolio-Analyse nur vergleichbar, wenn die Rendite auf einen gemeinsamen Zeitraum normiert wird (z. B. auf jährliche Renditen). Wenn dabei keine zusätzlichen Annahmen über Diskontierungsraten getroffen werden und der Einfluss der zeitlichen Struktur auf Erwartungswerte und Varianz außer Acht gelassen wird, ist

¹⁰ Theoretisch besteht bei der Portfolio-Analyse auch die Möglichkeit mehrperiodige Modelle aufzustellen. Korn (2014, S. 11) schlussfolgert jedoch: „Zeitdiskrete Mehrperiodenmodelle stellen aufgrund ihrer schnell mit der Periodenanzahl wachsenden Komplexität der durchzuführenden Rechnungen auch in Zeiten schneller Rechner keine Alternative zu zeitstetigen Modellen dar, bei denen ein deutlich ausgefeilterer mathematischer Werkzeugkasten eingesetzt werden kann.“ Damit sei auf die Reale-Optionen Analyse verwiesen, die einen solchen zeitstetigen Ansatz verfolgt und im nächsten Abschnitt behandelt wird.

die Portfolio-Analyse streng genommen fehlerhaft. Aerts et al. (2008) zum Beispiel verwenden einen jährlichen Nutzen gemessen in Geldeinheiten mit durchschnittlichen Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Klimaereignisse, sie berücksichtigen aber weder Investitionszeitpunkt oder Investitionshöhe noch Lebensdauer der Maßnahmen. Gerade bei der Anpassung an den Klimawandel können sich jedoch die Maßnahmen bezüglich dieser Kennzahlen erheblich unterscheiden. Crowe & Parker (2008) umgehen dieses Problem teilweise und benutzen bei ihrer Portfolio-Analyse eine physikalische Messgröße für den Nutzen, lassen dabei jedoch die Investitionskosten außer Acht. Da der Nutzen einer Anpassungsmaßnahme nur selten vollständig mit einer physikalischen Messgröße abgebildet werden kann, sind wiederum mit einem solchen „Workaround“ viele relevante Informationen nicht verwertbar. Man fällt quasi auf die informationelle Kompatibilität der KWA zurück. Insgesamt ist die informationelle Kompatibilität der Portfolio-Analyse somit sogar geringer als die der KNA.

Auch die *informationelle Flexibilität* der Portfolio-Analyse erweist sich als gering. Zwar können sowohl monetarisierte Kosten und Nutzen als auch physikalische Daten bei der Portfolio-Analyse als Rendite verwendet werden, gleichzeitig benötigt die Portfolio-Analyse allerdings in jedem Fall Wahrscheinlichkeiten bezüglich der Klimaentwicklung zur Berechnung der Renditevarianz, welche jedoch den derzeitigen verwendeten Klimamodellen kaum zu entnehmen sind. Zudem wird ein hohes Maß an Expertenwissen und quantitativen Daten benötigt. Schließlich müssen im Vergleich zu KWA und KNA auch noch zusätzliche Angaben zur Präferenzfunktion gemacht werden. Insgesamt ist die informationelle Flexibilität der Portfolio-Analyse also geringer als die der zuvor betrachteten Methoden.

Die *Interessenbedienung auf politischen Märkten* ist höher zu bewerten als bei der KNA, da nicht nur eine Abwägung zwischen Kosten und Nutzen stattfindet, sondern dem Ergebnis auch die „Optimalität“ in Bezug auf die mit dem Klimawandel verbundenen Unsicherheit zugesprochen wird. Eine risiko-optimale Anpassungspolitik macht sich sowohl bei den Wählern als auch bei politischen Verhandlung gut. Auf der anderen Seite schränkt auch die Portfolio-Analyse den diskretionären Spielraum der politischen Entscheider stark ein und erfüllt damit die Anforderung nach Bedienung politischer Interessen nur teilweise.

18.1.3.2.3. Praxisbetonte Anforderungen Zwar ist das Grundprinzip „Abwägung zwischen Risiko und Rendite“ relativ leicht zu verstehen, dennoch ist der Optimierungsprozess bei der Portfolio-Analyse eindeutig komplizierter als bei KWA und KNA, was zu der Komplexität der zugrundeliegenden Monetarisierung im Anpassungsbereich hinzukommt. Außerdem ist die Wahl einer geeigneten Präferenzfunktion zur Darstellung der eigenen Präferenzen nicht intuitiv, da solche Funktionen nur schwer physisch oder psychologisch interpretierbar sind. Die Durchführung einer Portfolio-Analyse im Anpassungsbereich erfordert daher einiges an Expertenwissen und ist für die administrativen Entscheider als Anwender in ihrer Funktionsweise nur schwer verständlich. Insgesamt ist die *Verständlichkeit* der Portfolio-Analyse als relativ gering einzuschätzen.

Der *Implementierungsaufwand* ist sehr hoch, da neben der aufwendigen Monetarisierung zwangsweise Wahrscheinlichkeiten zum Eintreffen bestimmter Ereignisse eingeholt und Varianzen bzw. Kovarianzen bestimmt werden müssen. Dabei muss von Wahrscheinlichkeiten des Eintretens klimatischer Ereignisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen geschlussfolgert werden. Dies scheint aufgrund der Datenlage sehr schwierig, sodass lediglich eine vereinfachte Betrachtung des Risikos realistisch ist. Insgesamt ist der Datenbedarf zum Durchführen einer Portfolio-Analyse aber dennoch so weitreichend, dass der Implementierungsaufwand in jedem Fall hoch ausfallen dürfte.

Ebenso wie bei der KNA, liegt die eine Möglichkeit zur *Partizipation* von Stakeholdern bei der Portfolio-Analyse in der Monetarisierung von Kosten und Nutzen, die jedoch im Anpassungsbereich sowohl im politischen als auch im administrativen Bereich kompliziert ist. Individuelle Kosten- und Nutzeneffekte können zwar von Stakeholdern abgefragt werden und aggregiert in die Bewertung einfließen, jedoch verkompliziert dies die ohnehin komplexe Monetarisierung und bietet Anreize zu Falschangaben, die nicht methodisch ausgeschlossen werden können. Modellparameter wie Präferenzfunktion sind sehr abstrakt und bieten sich nicht zur partizipativen Auswahl an. Die Kommunikation gestaltet sich zudem noch komplizierter als bei der KNA, da die Stufe der Portfolio-Optimierung hinzukommt. Insgesamt sind die Partizipationsmöglichkeiten für Stakeholder bei der Portfolio-Analyse also gering.

18.1.4. Reale Optionen

18.1.4.1. Verfahren

Die Kernidee der Reale-Optionen-Analyse (ROA) ist, dass unter Unsicherheit auch die Möglichkeit, eine Investition später durchzuführen, einen Wert hat, da man in der Zukunft zusätzliche Informationen gewinnen könnte, die dabei helfen könnten, eine bessere Entscheidung zu treffen oder die Unsicherheit zu verringern. Eben diese Option geht bei Umsetzung einer irreversiblen Investition verloren.

Die grundsätzliche Funktionsweise der ROA lässt sich anhand einer einfachen Darstellung verdeutlichen. In Abbildung 18.5a kann der Entscheider in $t = 0$ eine Investition tätigen, die von da an stetig konstante Kosten und Nutzen verursacht. Der Nutzen der Maßnahme übersteigt diese Kosten bis $t = \tau$, von diesem Zeitpunkt an ist der Nutzen jedoch unsicher und kann mit gleicher Wahrscheinlichkeit höher als bisher oder niedriger als die Kosten ausfallen. Da der Erwartungswert des Nutzens insgesamt über den Kosten liegt, ist der Kapitalwert der Maßnahme positiv und die Umsetzung der Maßnahme in $t = 0$ lohnt sich. In Abbildung 18.5b hat der Entscheider die Möglichkeit, die Investition bis $t = \tau$ hinauszuzögern. Dadurch verliert er zwar bis dahin den über die Kosten hinausgehenden Nutzen (Opportunitätskosten), kann aber auch ab $t = \tau$ einen eventuellen Verlust vermeiden, da er erfährt, ob der Nutzen hoch oder niedrig ausfällt. Wenn der Nutzen niedrig ausfällt, kann er auf die Investition verzichten und ist damit besser gestellt als mit einem Verlust. Falls in $t = 0$ der Barwert der erwarteten Verlustvermeidung

(Vorteil des Wartens) größer ist als der Barwert der Opportunitätskosten (Kosten des Wartens), dann hat diese „reale Option“ einen positiven Wert und es lohnt sich, die Investition bis $t = \tau$ hinauszuschieben, um mit einer besseren Informationslage zu entscheiden. Der Wert der Investitionsmöglichkeit zum Zeitpunkt $t = 0$ in Abbildung 18.5b ist dann um diesen zusätzlichen Optionswert größer als in Abbildung 18.5a. Diese Abwägung ist dem Grundprinzip der ROA inhärent, die Berechnung des Wertes einer realen Option stellt sich jedoch etwas komplizierter dar.

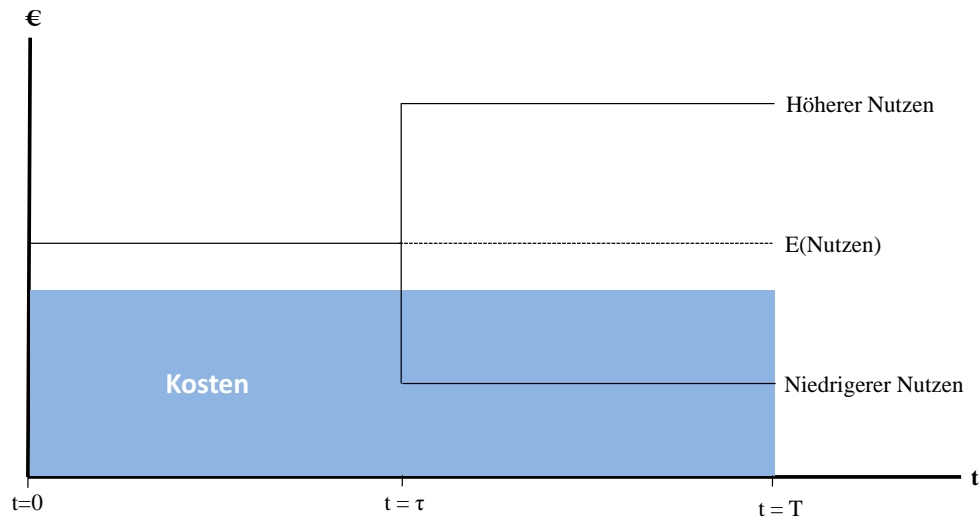
Die Möglichkeit zur Ausübung oder Nicht-Ausübung der Investition führt zum Ausübungszeitpunkt τ zu einer asymmetrischen Preisstruktur der realen Option in Abhängigkeit von dem Barwert der Investition. Ist der Barwert $BW_\tau = \sum_{t=\tau}^T \frac{N_t - K_t}{(1+r)^t}$ der zukünftigen Nettonutzen (Nutzen abzüglich Betriebskosten) höher als die Investitionskosten I , das heißt ist der KW_τ positiv, dann hat die reale Option einen positiven Wert und die Investition wird getätigt. Ist der Barwert BW_τ niedriger als die Investitionskosten I , das heißt ist der KW_τ negativ, wird die Investition nicht getätigt und die Option hat einen Wert von Null. Diese Auszahlungsstruktur zum Ausübungszeitpunkt τ ist identisch zu der einer Call-Option mit Ausübungspreis I und Basiswert BW_τ und kann mit $C_\tau = \max\{BW_\tau - I; 0\}$ bezeichnet werden (siehe Abbildung 18.5).

18.1.4.1.1. Bewertung von Call-Optionen Eine Standard-Call-Option (plain vanilla) gibt dem Käufer der Option das Recht, eine bestimmte Menge des Basiswertes (z. B. Rohstoffe, Aktien) zu einem vorher bestimmten Ausübungspreis zu kaufen.¹¹ Dabei unterscheidet man zwischen europäischen Optionen mit einem fixen Fälligkeitsdatum, zu dem die Option ausgeübt werden kann, und amerikanischen Optionen, die jederzeit *bis* zu dem Fälligkeitsdatum ausgeübt werden können. In beiden Fällen gilt: Ist bei Fälligkeit der Option der Preis des Basiswertes niedriger als der Ausübungspreis, dann wird die Option nicht ausgeübt und verfällt mit einem Wert von Null. Ist der Preis des Basiswertes jedoch größer als der Ausübungspreis, kann die Option ausgeübt werden und bietet dem Besitzer einen Gewinn in Höhe der Differenz zwischen Preis und Ausübungspreis. Anders als bei unserem Beispiel in Abbildung 18.4 ist der Preis des Basiswertes üblicherweise stets unsicher und kann sich zu jedem Zeitpunkt zwischen Kauf der Option ($t = 0$) und Ausübungszeitpunkt ($t = \tau$) ändern. Gleiches gilt in der Praxis für den Barwert von Anpassungsmaßnahmen. Dies bewirkt, dass der Wert einer Call-Option vor dem Ausübungszeitpunkt höher ist als im Ausübungszeitpunkt selbst (siehe $C(t_1)$ und $C(t_2)$ in Abbildung 18.5).¹²

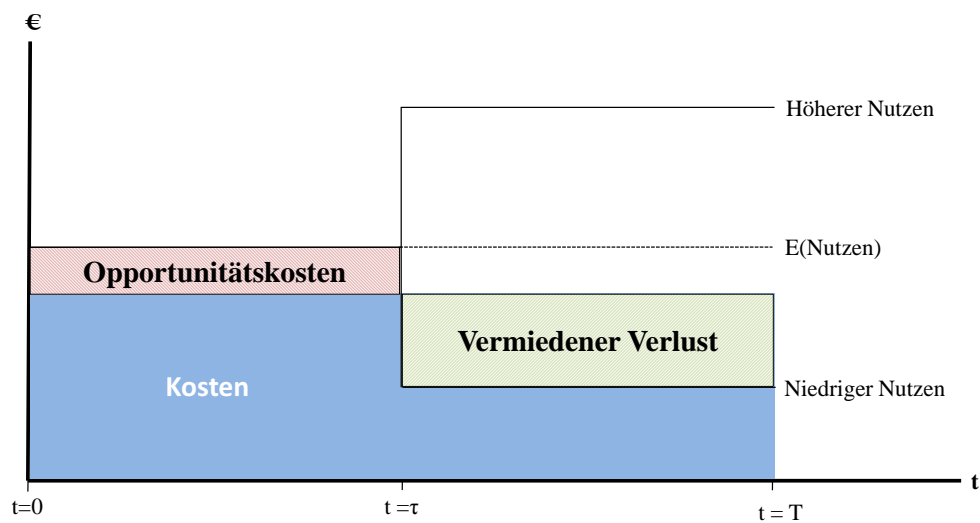
¹¹ Im Gegenzug dazu gibt es sogenannte Put-Optionen, die einen berechtigen eine bestimmte Menge des Basiswertes zu einem vorher bestimmten Ausübungspreis zu *verkaufen*.

¹² Dies lässt sich am einfachsten mit Aktien als Basiswert verdeutlichen (Black & Scholes, 1973). Die Auszahlungsstruktur $C_t = \max\{BW_t - I; 0\}$ eines Calls auf eine Aktie zum Ausübungszeitpunkt τ lässt sich in $t = 0$ mit dem Kauf der besagten Aktie und dem Verkauf eines festverzinslichen Papiers (Zero-Bond oder Nullkuponanleihe) mit Laufzeit τ und Nennwert I replizieren. Somit sollte der Wert des Calls in $t = 0$ dem Wert der Aktie abzüglich des Wertes des festverzinslichen Papiers entsprechen. Ist die Zeitspanne τ sehr lang, wird der Bond in $t = 0$ einen sehr niedrigen Preis haben und somit entspricht der Wert der Option in etwa dem der Aktie (z. B. $C(t_1)$). Ist die bis zur Ausübung verbleibende Zeit jedoch kurz, wird der Wert des Bonds höher sein und der Wert des Calls somit

Abbildung 18.4.: Wert einer Option im zeitstetigen Modell

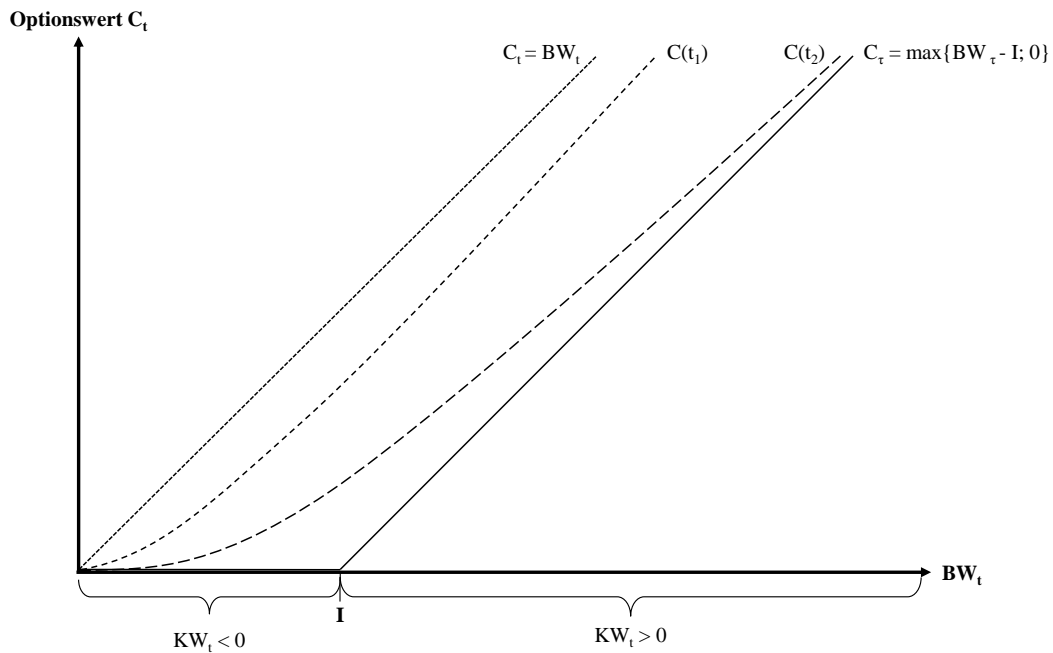


(a) Investition ohne Option



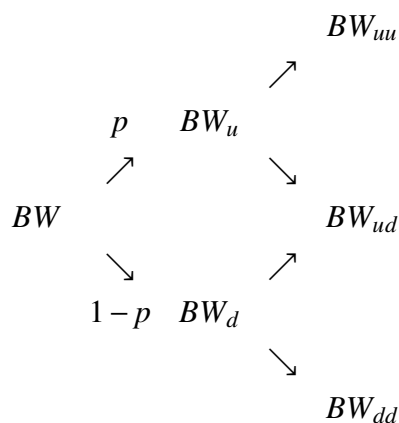
(b) Investition mit Option bis $t = \tau$

Quelle: Eigene Darstellung nach Blyth et al. (2007).

Abbildung 18.5.: Optionswert einer realen Option zum Investitionszeitpunkt $t = \tau$


Für die Entwicklung eines Modells zur Bewertung von europäischen Optionen auf dividendenlose Aktien haben Black & Scholes (1973) und Merton (1973) im Jahre 1973 den Nobelpreis der Wirtschaftswissenschaften erhalten. Dieses Modell findet heute weitgehend bei der Bewertung von Finanzderivaten Anwendung.

Zur Erklärung des grundsätzlichen Vorgehens bei der Optionsbewertung bietet sich jedoch zunächst das einfachere Binomialmodell von Cox et al. (1979) an. Dieses geht von einem simplen Preisentwicklungsprozess aus, bei dem sich der Wert des Basiswertes BW in jeder Zeitperiode nur zu zwei möglichen Preisen bewegen kann:



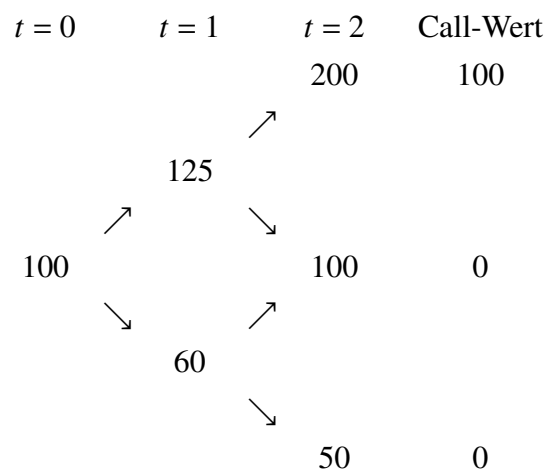
Mit Wahrscheinlichkeit p steigt der Wert von BW auf BW_u und mit Wahrscheinlichkeit $1 - p$ sinkt er auf BW_d . Dementsprechend verändert sich auch der Preis des Calls auf C_u und C_d . Man kann die Auszahlung des Calls mit Basiswert BW und Ausübungspreis I zu jedem Zeitpunkt

niedriger (z. B. $C(t_2)$).

einzelnen imitieren, indem man ein Replikationsportfolio aus dem Basiswert selbst und dem Verkauf einer festverzinslichen Nullkuponanleihe (Zero-Bond) bildet. Dabei müssen Δ Einheiten des Basiswerts gekauft werden und Zero-Bonds zum Preis von B verkauft werden. Aufgrund von Arbitrage muss der Preis der Option dem des Replikationsportfolios entsprechen.

In einem Mehrperiodenmodell kann die Bewertung iterativ vorgenommen werden, anfangend mit dem letzten Zeitpunkt und endend mit dem gegenwärtigen Zeitpunkt. Dabei wird in jedem Knotenpunkt ein Replikationsportfolio aufgestellt und bewertet. Somit lässt sich der Wert des Calls zu jedem Zeitpunkt und jedem möglichen Preis des Basiswerts bestimmen. Der Wert des Calls entspricht in jedem Knotenpunkt dem des Replikationsportfolios $C(t) = BW_t \cdot \Delta - B_t$. Die Variablen Δ und B_t werden dabei in Abhängigkeit von $C_u(t+1)$ und $C_d(t+1)$ gewählt.

Nehmen wir als ein einfaches Beispiel für die Preisentwicklung des Basiswertes und eines darauf bezogenen Calls mit Ausübungspreis $I = 100$ und Laufzeit $\tau = 2$:



In $t = 2$ beträgt der Wert des Calls $C_t = \max\{BW_t - I_t; 0\}$: also $C(t_2) = 100$ falls $BW_{t=2} = 200$ und sonst Null. Beginnen wir nun von hinten, die Call-Werte mit Replikationsportfolios zu imitieren, und nehmen eine Zinsrate von 25% an. Dann ergibt sich im oberen Knotenpunkt von $t = 1$:

$t = 1$	$t = 2$	Call-Wert	Replikationsportfolio
	200	100	$(200 \cdot \Delta) - (1,25 \cdot B_{t=1}) = 100$
125			
	100	0	$(100 \cdot \Delta) - (1,25 \cdot B_{t=1}) = 0$

Lösen wir nun mit $\Delta = \frac{C_u - C_d}{BW_u - BW_d}$, dann erhalten wir $\Delta = 1$ und $B_{t=1} = 80$. Somit hat der Call in $t = 1$ den Wert $C_u(t_1) = 125 \cdot 1 - 80 = 45$. Wiederholen wir dasselbe im unteren Knotenpunkt, dann erhalten wir $\Delta = 0$, $B_{t=1} = 0$ und $C_d(t_1) = 0$. Mit diesen Werten kann man nun den Call-Preis in $t = 0$ bestimmen:

$t = 0$	$t = 1$	Call-Wert	Replikationsportfolio
	125	45	$(125 \cdot \Delta) - (1,25 \cdot B_{t=0}) = 45$
100			
	60	0	$(60 \cdot \Delta) - (1,25 \cdot B_{t=0}) = 0$

Hier ergibt sich mit $\Delta = \frac{45-0}{125-60} = \frac{9}{13}$ und $B_{t=0} = 33,23$ ein Call-Preis von $C(t_0) = 100 \cdot \frac{9}{13} - 33,23 = 36$.

Ein interessanter Aspekt von Optionen wird bereits hier im Binomialmodell klar. Der Wert der Option hängt nicht vom erwarteten Preis des Basiswertes ab, sondern vom derzeitigen Preis, welcher aber an sich Erwartungen über die zukünftige Entwicklung beinhaltet. Bei Anpassungsmaßnahmen ist dieser Zusammenhang noch direkter, da der derzeitige Barwert der Investition tatsächlich einen Erwartungswert zukünftiger Barwerte darstellt.

Das Binomialmodell nach Cox et al. (1979) basiert auf einer zeitdiskreten Preisentwicklung des Basiswertes. Black & Scholes (1973) und Merton (1973) verwendeten ein zeitstetiges Modell, in dem sich der Preis jederzeit ändern konnte. Bei Konvergenz der Zeitabstände gegen Null nehmen sie eine asymptotische Normalverteilung der Preisveränderungen an. Unter dieser Annahme ergab sich folgende Formel zur Berechnung des Wertes eines europäischen Calls:

$$C_0 = BW_0 \cdot \Phi(d_1) - I \cdot e^{-r\tau} \cdot \Phi(d_2)$$

wobei

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{BW_0}{I}\right) + (r + \sigma^2) \cdot \tau}{\sigma \cdot \sqrt{\tau}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{\tau}$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

$\Phi(x)$ bezeichnet die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung und $\Phi(d_1)$ wird als das Optionsdelta bezeichnet. Vergleichbar mit dem Δ aus dem Binomialmodell, beschreibt es den Zuwachs des Call-Wertes bei Ansteigen des Basiswertpreises um eine Einheit.¹³ Das Prinzip des Replikationsportfolios aus dem Binomialmodell lässt sich auch in der Black-Scholes Formel wiederfinden. Der erste Term ist vergleichbar mit der Investition in Basiswerte und der zweite Term mit dem Barwert einer risikolosen Nullkuponanleihe mit Fälligkeit zum Aus-

¹³ Das Optionsdelta $\Phi(d_1)$ ist genauer gesagt die erste Ableitung der Black-Scholes Formel nach dem Basiswert: $\frac{\partial C}{\partial BW}$.

übungszeitpunkt:

$$C_0 = \underbrace{BW_0 \cdot \Phi(d_1)}_{\text{Basiswert}} - \underbrace{I \cdot e^{-r\tau} \cdot \Phi(d_2)}_{\text{Anleihenbarwert}}.$$

Die Determinanten des Call-Wertes in der Black-Scholes Formel sind der Preis des Basiswertes BW_0 , die Varianz des Basiswertes σ^2 , Laufzeit der Option τ , der Ausübungspreis I und der risikolose Zins r .

18.1.4.1.2. Bewertung von realen Optionen McDonald & Siegel (1986), Pindyck (1993) und Dixit & Pindyck (1994) haben das Bewertungsverfahren für Optionen aus der Finanzbranche auf Realinvestitionen angewendet, woraus auch der Name „Reale Optionen“ hervorging. Realinvestitionen müssen jedoch drei Bedingungen erfüllen, damit die ROA formal korrekt angewendet werden kann (Dixit & Pindyck, 1994):

1. Irreversibilität der Investition (Investitionskosten sind „sunk costs“)
2. Unsicherheit bezüglich des zukünftigen (Netto-)Nutzens der Investition
3. Flexibilität bezüglich des Durchführungszeitpunktes.

Erfreulicherweise entsprechen diese drei Bedingungen genau den in Abschnitt 14.1 genannten Schwierigkeiten bei der Bewertung von Anpassungsmaßnahmen und werden bei den meisten Anpassungsmaßnahmen erfüllt. Dementsprechend scheint die ROA wie für Anpassungsmaßnahmen gemacht.

Die für das Binomialmodell oder die Black-Scholes Formel nötigen Determinanten sind im Bereich der Anpassungspolitik folgende:

- Preis des Basiswertes BW_0 : Der Basiswert ist die Anpassungsmaßnahme selbst. Ihr Preis entspricht dem Barwert der zukünftigen Nettonutzen (ohne die anfänglichen Investitionskosten) $BW_0 = \sum_{t=0}^T \frac{N_t - K_t}{(1+r)^t}$. Die einzelnen Werte mögen sehr unsicher sein. Während diese Unsicherheit bei den meisten Verfahren ein Problem darstellen würde, ist sie in der ROA explizit Teil des Ansatzes und ist sogar nötig, damit die Option auf „Investitionsaufschub“ zur Gewinnung besserer Informationen in der Zukunft überhaupt einen Wert hat. Wenn die Nettonutzen der Maßnahme sicher wären, würde eine Anwendung der ROA sinnlos sein, da sich der Wert der Option auf Null beläuft.
- Varianz des Basiswertes σ^2 : Die Varianz des Basiswertes kann über die verschiedenen Szenarien (z. B. Klimaentwicklungsszenarien) hinweg gemessen werden. Dafür müssen den einzelnen Szenarien Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden und Barwerte für jedes einzelne Szenario berechnet werden. Je höher die Varianz desto höher ist der Wert, die Investition aufzuschieben und somit der Optionswert.

- Laufzeit τ : Die Laufzeit der realen Option ist der Zeitraum, in dem eine Anpassungsmaßnahme umsetzbar bleibt oder einen positiven Barwert aufweist. Manche Maßnahmen werden ab einem bestimmten Zeitpunkt in Abhängigkeit der klimatischen Entwicklung keine Wirkung mehr haben. Wenn der Barwert einer Maßnahme dann negativ wird, kann dieser Zeitpunkt auch als Ende der Laufzeit der Option erachtet werden.
- Ausübungspreis I : Der Ausübungspreis der Option sind die anfänglichen Investitionskosten, von welchen angenommen wird, dass sie sich während der Laufzeit τ nicht verändern. Damit wird implizit angenommen, dass jegliche mit der Investition verbundene Unsicherheit die Nettonutzen betrifft und nicht die Investitionskosten.
- risikoloser Zins r : Der risikolose Zins sollte sich auf die Laufzeit der Option beziehen. Zum Beispiel kann der Zinssatz von Staatsanleihen mit gleicher Laufzeit verwendet werden.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Informationsbeschaffung für diese Determinanten im Bereich der Realinvestitionen weitaus schwieriger ist als im Finanzbereich, wo Basiswerte stets gehandelt werden und die Preise bzw. Varianzen ohne Weiteres berechnet werden können. Zudem ist die Übertragung des Black-Scholes Ansatzes gegebenenfalls nicht immer passend, da hier von einem stetigen Preisentwicklungsprozess ohne größere Sprünge ausgegangen wird. Plötzlicher technologischer Fortschritt kann aber besonders im Bereich der Klimawandelanpassung zu solchen Sprüngen führen (Kostensenkung oder Nutzenanstieg).

Hinzu kommt, dass Anpassungsmaßnahmen - wie die meisten Realinvestitionen - üblicherweise mehrere mögliche Zeitpunkte zur Investition bieten, und somit eher einem amerikanischen Call als einem europäischen Call entsprechen. Die Black-Scholes Formel hingegen ist nur für europäische Optionen gültig. Der Wert einer amerikanischen Option ist immer mindestens so hoch wie der einer europäischen Option. Deswegen kann dieser Wert dennoch als Minimalpreis verwendet werden. Genauere Methoden zur Bestimmung des Wertes von amerikanischen Option beruhen auf Simulationen des Basiswertpreises oder auf einem modifizierten Zufallsbaummodell. Da es bei der ROA jedoch lediglich um den Vergleich zwischen den Alternativen geht und die Optionswerte bei der Verwendung der Black-Scholes Formel alle „unterbewertet“ sind, kann von der Verwendung einer dieser komplizierten Methoden abgesehen werden.

Eine Frage, die jedoch ausschließlich mit Methoden der Bewertung amerikanischer Optionen beantwortet werden kann, ist, zu welchem Zeitpunkt eine Anpassungsmaßnahme nicht mehr weiter aufgeschoben, sondern umgesetzt werden sollte. Dafür werden in der ROA dem Optionswert der Maßnahme ihr Kapitalwert (innerer Wert der Option) gegenübergestellt. Sobald der Kapitalwert der Maßnahme den Optionswert übersteigt, sollte die Maßnahme umgesetzt werden.

18.1.4.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

18.1.4.2.1. Allgemeine Anforderungen Die *rationalisierende Wirkung* der ROA ist höher als die der zuvor vorgestellten Portfolio-Analyse. Der dynamische Ansatz der ROA verhindert im Gegensatz zur Portfolio-Analyse zeitliche Inkonsistenzen und hyperbolische Diskontierung, da eine Diskontierung zum risikolosen Zinssatz implizit vorgenommen wird. Ansonsten ähnelt die rationalisierende Wirkung der von KWA und KNA. Die der ROA vorangestellte monetäre Bewertung von Nutzen und Kosten der Anpassungsmaßnahmen erfordert analytisches Vorgehen und beugt somit Entscheidungsheuristiken und Verzerrungen vor, die als Verhaltensbarrieren bei unstrukturierten Entscheidungen auftreten können. Lediglich bei groben Schätzungen dieser Kennzahlen kann es zu Verzerrungen kommen. Die monetären Bewertungen können bei groben Schätzungen aufgrund des Framing-Effektes durch die Fragestellung oder aufgrund des Anchoring-Effektes durch irrelevante Zahlen verzerrt werden. Selbiges gilt für grobe Schätzungen von Wahrscheinlichkeiten, die aufgrund von kognitiven Verfügbarkeitsheuristiken von persönlichen Erinnerungen beeinflusst werden können. Subjektive Schätzungen des Nutzens hingegen sind für Gewinnoptimismus anfällig. Während Kosten und Nutzenbewertungen von Anpassungsmaßnahmen analytisch vorgenommen werden, sind subjektive Schätzungen von Wahrscheinlichkeiten aufgrund der Datenlage im Anpassungsbereich sogar durchaus vorstellbar. Bei üblicher analytischer Berechnung der für die ROA nötigen Kennzahlen ist jedoch von einer hohen rationalisierenden Wirkung auszugehen.

Der Optionswert einer Anpassungsmaßnahme als alleinige Kennzahl reicht nicht für das *Monitoring* der staatlichen Anpassung aus, da der höchste Optionswert nicht die beste Maßnahme beschreibt. Maßnahmen mit einem hohen Optionswert sollten eher aufgeschoben als umgesetzt werden, aber wann welche Maßnahmen umgesetzt werden sollen ist damit nicht beantwortet. Aufschluss über die Optimalität einer staatlichen Investition gibt dieser Wert lediglich bei Bewertung als amerikanische Option und im Vergleich mit dem Kapitalwert. Nur wenn der Kapitalwert den Wert der amerikanischen Option übersteigt, sollte die Maßnahme umgesetzt werden. Mit dieser Entscheidungsregel lässt sich jedoch keine optimale Strategie bestimmen, sie kann lediglich der Überprüfung des Umsetzungszeitpunkts einzelner Maßnahme dienen. Vielmehr liegt der Anwendungsbereich von ROA im Aufzeigen des versteckten Potentials von Anpassungsmaßnahmen mit vergleichsweise niedrigem Kapitalwert.¹⁴ Zudem bleiben ebenfalls wie bei den beiden Methoden zuvor weiterhin Einflussmöglichkeiten von Eigeninteressen und Interessengruppen bei der Wahl der Determinanten und insbesondere bei Monetarisierung von Kosten und Nutzen. Insgesamt ist die ROA nicht zum Monitoring von staatlichen Klimaanpassungsentscheidungen geeignet.

Die ROA wurde explizit zur *Anwendung unter Unsicherheit* entwickelt und schreibt, im Ge-

¹⁴ Zum Beispiel können Kapazitätsaufbaumaßnahmen, No-Regret-Maßnahmen und weiche Anpassungsmaßnahmen einen hohen Optionswert aufweisen, da diese zukünftige Investitionsmöglichkeiten offen halten. Auch Maßnahmen mit einem zeitnahen Nutzen oder akutem Anpassungsdefizit werden hoch bewertet, da diese hohe Opportunitätskosten des Wartens aufweisen.

gensatz zu den anderen Methoden, dieser Unsicherheit sogar einen Wert zu. Dabei kann die ROA besonders frühen Basismaßnahmen, wie Machbarkeitsstudien oder Anfangsinvestitionen, hohe Werte zuschreiben, da sie Möglichkeiten offen halten auch wenn diese sehr unsicher sind. Für die Berechnung der Varianz des Basiswertes sind bei der ROA jedoch Wahrscheinlichkeiten nötig. Somit kann die Methode in Situationen der Ungewissheit ohne bekannte Eintrittswahrscheinlichkeiten wie sie bei der Klimawandelanpassung fast ausschließlich vorkommen, nicht angewendet werden. Die Anforderung nach Anwendbarkeit unter Unsicherheit oder Ungewissheit wird somit nur teilweise erfüllt.

Eine *Priorisierung* nach dem Optionswert ist möglich. Ein Rangfolge bezüglich des Optionswertes beschreibt, wie bereits erwähnt, welches relative Potential die Alternativen für die Zukunft haben. Um zu entscheiden, welche Alternativen zum Bewertungszeitpunkt umgesetzt werden sollten, müssen die amerikanischen Optionswerte mit den Kapitalwerten verglichen werden. Anpassungsmaßnahmen mit höheren Kapitalwerten als Optionswerten sollten dem Prinzip der ROA nach umgesetzt werden. Eine Rangfolge innerhalb der umzusetzenden Maßnahmen kann so jedoch nicht aufgestellt werden.¹⁵ Eine Rangfolgenproblematik mit Ausrichtung auf Auswahl der umzusetzenden Maßnahmen kann somit mit einer ROA nicht gelöst werden.

Eine *Auswahlproblematik* kann die ROA lediglich lösen, wenn nach einer Anpassungsmaßnahme gesucht wird, in deren Erforschung investiert werden soll. Die Maßnahme mit dem höchsten Optionswert verfügt zwar über eine ungewisse Wirkung, hat bei Erhalten neuer Informationen aber das größte Potential, hohen Nutzen zu bringen. Somit kann mit ROA die Alternative mit dem größten Forschungspotential ausgewählt werden. Der Vergleich des Optionswerts mit dem Kapitalwert löst die Auswahlproblematik hingegen nicht eindeutig, da nach dieser Entscheidungsregel eventuell mehrere Maßnahmen gleichzeitig umgesetzt werden müssen. Mit der ROA kann somit keine eindeutig optimale Alternative ausgewählt werden. Auch zur *Sortierung* des Anpassungsmaßnahmen eignet sich die ROA nur bedingt. Es kann nach umzusetzenden oder nicht umzusetzenden Maßnahmen sortiert werden. Eine Kategorisierung nur nach Optionswert ist schwierig, da die Höhe der Optionswerte nur schwer interpretierbar ist und der Unterschied zwischen hohem Forschungspotential und niedrigem Forschungspotential so nicht erschließbar ist. Eine *Portfolioproblematik* kann nicht gelöst werden, da die Konflikte und Synergien bei gleichzeitiger Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen bei der Berechnung der ROA nicht berücksichtigt werden. Die ROA ist also maximal für eine zusätzliche Entscheidungsproblematik anwendbar.

Da einer ROA ebenfalls eine Monetarisierung vorangestellt ist, entspricht die *prozedurale Fairness* grob der einer KNA. Die Methode, ob Binomialmodell oder Black-Scholes, ob Be-

¹⁵ Denkbar ist zwar eine Entscheidungsregel bei der Maßnahmen mit hohem Kapitalwert und geringem Optionswert bis zur Ausschöpfung des Budgets zuerst umgesetzt werden, da ihr Nutzen hoch und relativ sicher ist. Anpassungsmaßnahmen, bei denen der Optionswert den Kapitalwert bei weitem übersteigt, sollten aufgeschoben werden, da hier zukünftige Informationen eine große Auswirkung auf die Vorteilhaftigkeit der Maßnahme haben können. Eine mathematische Fundierung einer solchen zusätzlichen Entscheidungsregel für die ROA mit Budgetbeschränkung ist aber nicht bekannt.

rechnung als europäische Option oder amerikanische Option, ist an sich konsistent. Doch die wahrgenommene *Konsistenz* der ROA wird verringert durch die Komplexität der monetären Bewertung von Kosten, Nutzen und Varianz. Auch die komplexe Optionsbewertungsmethode mag zu vermeintlichen Inkonsistenzen führen. Zum Beispiel kann der positive Effekt von Risiko bei der Berechnung der Optionswerte, besonders im Anpassungsbereich, wo üblicherweise Risiko vermieden werden soll, inkonsistent wirken. Die *Korrigierbarkeit* der ROA ist relativ hoch, da einzelne Kennzahlen, sei es als Teil des Barwertes der Anpassungsmaßnahme oder als Determinante, ausgetauscht werden können ohne alle Maßnahmen von neuem bewerten zu müssen. Ebenso wie bei den letzten drei Entscheidungsmethoden hängt die *Unvoreingenommenheit* der ROA von den Eingaben bei deren Berechnung ab. Die strikte Monetarisierung trägt wie bei der KNA theoretisch zur Objektivierung des Entscheidungsprozesses bei, lässt jedoch genügend Spielraum, sodass unter Umständen der Eindruck einer voreingenommenen Entscheidung entstehen kann. Neben dem Barwert bieten die anderen Determinanten zusätzliche Einflussmöglichkeiten. Insgesamt garantiert die Verwendung der ROA nicht den Eindruck einer unvoreingenommenen Entscheidung. Die *Genauigkeit* der ROA hängt von der Monetarisierbarkeit der Kosten und besonders der Nutzen der Anpassungsmaßnahmen ab. Wie bei den anderen Methoden mit monetärer Bewertung wirkt die Methode daher im administrativen Entscheidungsfeld potenziell genauer als im politischen Entscheidungsfeld, wo die Wirkung der Maßnahmen unspezifischer ist. Auch die *Repräsentativität* der ROA ist im politischen Entscheidungsfeld erwartungsweise niedriger als im administrativen Entscheidungsfeld. Die Berücksichtigung aller relevanten Stakeholder bei der Berechnung des Barwertes von konkreten Anpassungsmaßnahmen scheint wahrscheinlicher als die Berücksichtigung aller Betroffenen von politischen Maßnahmen wie zum Beispiel Gesetzesänderungen. Insgesamt erfüllt die ROA somit bei einer Verwendung im administrativen Entscheidungsfeld zwei Anforderungen prozeduraler Fairness, während im politischen Entscheidungsfeld keine Anforderung erfüllt wird.

Die *interaktionale Fairness* der ROA fällt jedoch aufgrund der höheren Komplexität der Methode sogar geringer aus als die der KNA. Die Bereitstellung notwendiger Informationen an Stakeholder umfasst nun mehrere Werte: Preis des Basiswertes, Varianz des Basiswertes, Laufzeit der Option, Investitionskosten und der risikolose Zinssatz. Die Herleitung aller Werte ist im Anpassungsbereich kompliziert. Dies macht eine Verdeutlichung der verwendeten Informationen und getroffenen Annahmen sehr schwierig. Auch die Erwartungen an das Entscheidungsergebnis sind schwerer nachvollziehbar: Maßnahmen werden vollzogen, sobald ihr Kapitalwert höher ist als ihr Optionswert. Die Vermittlung der Bedeutung dieser Erwartungen erfordert die gesamte theoretische Herleitung der Methode, wie sie in Abschnitt 18.1.4.1 dargestellt wurde. Somit lässt sich schlussfolgern, dass keine der Anforderungen der interaktionalen Fairness von der ROA Methode bedient wird.

Die Überprüfung der Sensitivität der Optionswerte mittels partieller Ableitung des Optionspreises nach den jeweiligen Modellparametern, den sogenannten „Griechen“ (Optionsdelta, -gamma, -vega, -theta, -rho, -omega), ist zumindest bei Finanzderivaten üblich. So kann über-

prüft werden, welchen Einfluss Abweichungen bei den gewählten Parametern auf den Optionspreis und damit auf die *Robustheit der Entscheidung* haben. Eine solche Sensitivitätsanalyse kann auch auf ein gesamtes Portfolio aus realen Optionen angewendet werden. Somit ist bei der ROA ein gängiges Verfahren zur Überprüfung der Robustheit gegeben.

18.1.4.2.2. Politikbetonte Anforderungen Obwohl auch die ROA theoretisch alle relevanten Effekte der Anpassungsmaßnahmen über Monetarisierung einbeziehen kann, ergeben sich dabei die selben Schwierigkeiten im Sinne der *informationellen Kompatibilität* wie bei KNA und Portfolio-Analyse. Besonders nicht-marktverbundene Auswirkungen, nicht-technischen Maßnahmen und Verteilungseffekte sind schwer zu bewerten. Damit ist die Berücksichtigung vieler im Anpassungsbereich relevanten Informationen nicht möglich. Die Flexibilität der Maßnahme hingegen, eine Investition auszuweiten, zu verringern oder aufzugeben, wird bei der ROA explizit mitbewertet. Da die Flexibilität einer Anpassungsmaßnahme eine Determinante für ihre Robustheit gegenüber zukünftigen Ungewissheiten ist (siehe Kapitel 16.4), kann die ROA dieses im Anpassungsbereich zusätzlich relevante Entscheidungskriterium mitberücksichtigen. Daher ist die informationelle Kompatibilität der ROA höher als die der zuvor vorgestellten Methoden und erfüllt diese Anforderung immerhin teilweise.

Ähnlich wie bei der Portfolio-Analyse werden bei der ROA zusätzlich zu monetären Kosten und Nutzenbewertungen für verschiedene Umweltzustände auch noch konkrete Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Berechnung der Varianzen benötigt. Damit ist auch die *informationelle Flexibilität* der ROA sehr niedrig und die benötigten Informationen sind sogar sowohl im politischen als auch im administrativem Entscheidungsfeld der Klimaanpassung sehr schwer zu erhalten.

Die ROA berechnet keine ökonomisch „optimale“ Anpassungspolitik, die als positives Signal von Wiederwahl-interessierten Politikern genutzt werden könnte oder als Argument bei politischen Verhandlungen dienen könnte. Für risikofreudige politische Entscheider hingegen kann die ROA Anpassungsmaßnahmen mit hohen Chancen aber auch hoher Unsicherheit anzeigen. Eine Verwendung der ROA schränkt die diskretionären Spielräume der politischen Entscheider gleichzeitig weniger ein als die anderen bisher vorgestellten Methoden. Bei der Betrachtung von Optionswerten werden lediglich Anpassungsmaßnahmen mit hohem Potential aufgezeigt, in deren Ausarbeitung weiter investiert werden kann. Es erfolgt jedoch keine konkrete Auswahl bestimmter Maßnahmen zur Umsetzung, sodass diese Entscheidung weiterhin den Politikern obliegt. Beim Vergleich amerikanischer Optionswerte mit dem Kapitalwert der Maßnahmen wird aufgezeigt, welche Maßnahmen weiter aufgeschoben werden sollten und welche bereits jetzt umgesetzt werden können. Auch hier obliegt die Auswahl der umzusetzenden Maßnahmen bei Budgetbeschränkung den politischen Entscheidern. Insgesamt werden die *Interessen auf politischen Märkten* also dennoch teilweise bedient.

18.1.4.2.3. Praxisbetonte Anforderungen Die ROA gehört zu den Methoden, die nur schwer verständlich sind. Allein die Tatsache, dass Unsicherheit auch eine Art von Wert darstellt, mag im ersten Moment eher kontraintuitiv erscheinen. Die mathematische und logische Herleitung der Optionsbewertung ist weitaus komplexer als die der zuvor genannten Methoden. Hinzu kommt die bei den vorigen Methoden beschriebene Komplexität der Monetarisierung, sodass zusammengenommen die Verständlichkeit der ROA insgesamt gering ist.

Gleichzeitig ist der Implementierungsaufwand der ROA relativ hoch. Zusätzlich zu der Monetarisierung von Kosten und Nutzen muss bei der ROA auch die Laufzeit der Option bestimmt werden, also der Zeitraum, in dem eine Anpassungsmaßnahme umsetzbar bleibt oder einen positiven Nettobarwert erhält. Bei formal korrekter Umsetzung muss zudem ein risikoloser Zins gefunden werden, der zur Laufzeit einer jeden Anpassungsmaßnahme passt. Außerdem müssen die Barwerte, also Kosten und Nutzen, einer Maßnahme für verschiedene Klimaszenarien berechnet werden und diese mit Eintrittswahrscheinlichkeiten bestückt werden. Diese insgesamt hohe Komplexität erfordert grundsätzlich Expertenwissen bei der Umsetzung der Methode. Der *Implementierungsaufwand* ist insgesamt höher als bei den zuvor vorgestellten Methoden.

So wie bei KNA und Portfolio-Analyse, liegt eine Möglichkeit zur *Stakeholder-Partizipation* bei der Monetarisierung von Kosten und Nutzen. Die Abfrage aller Kosten-Nutzen-Effekte differenziert nach Stakeholdern dürfte die ohnehin schwierige Monetarisierung jedoch erheblich verkomplizieren. Zudem können Anreize zu Falschangaben methodisch nicht ausgeschlossen werden. Die Auswahl der Determinanten wie risikoloser Zins und Laufzeit kann zwar unter Beteiligung der Stakeholder vorgenommen werden, aber die Stakeholder werden bei diesen Kennzahlen in der Regel keine Mehrinformation liefern können oder ihre Präferenzen äußern können. Zudem gestaltet sich die Partizipation der Stakeholder bei der ROA schwieriger, da die Methode an sich komplizierter ist. Insgesamt eignet sich die ROA kaum zur Stakeholder-Partizipation.

18.1.5. Robust Decision Making

18.1.5.1. Verfahren

Die Robust Decision Making (RDM) Methode stellt einen Ansatz dar, der weniger auf Optimalität der Maßnahmen als auf ihre Robustheit abzielt.¹⁶ RDM untersucht die Wirkung der einzelnen Maßnahmen in einer Vielzahl von simulierten hypothetischen Szenarien und kann so besonders relevante Szenarien und robuste Maßnahmen aufzeigen. Basierend auf der Arbeit von Lempert & Schlesinger (2000) wurde dieser Ansatz zunächst im Klimaschutzbereich eingesetzt.¹⁷ Inzwischen wurde die Methode auch vermehrt im Klimaanpassungskontext verwendet.

Grundsätzlich wird, wie bei anderen Methoden auch, zunächst das Problem strukturiert, verschiedene Anpassungsalternativen werden zusammengetragen und ein Ziel- oder Performance-

¹⁶ Der Begriff Robustheit wurde bereits in Kapitel 16.4 genauer erläutert.

¹⁷ Für eine ausführliche Literaturübersicht im Bereich Klimaschutz siehe Abschnitt 10.1.5 von IPCC (2001).

Indikator wird festgelegt. Die weiteren Schritte hängen im Detail von der Wahl der Simulationemethode, statistischen Methode der explorativen Datenanalyse (gemeinhin Data Mining) und dem Vorgehen bei der Auswahl von Szenarios und robusten Alternativen mittels Visualisierung ab. Die konkreten Vorgehen bei RDM-Methoden variieren stark, von sehr einfachen und kleinen Simulationssamples, zur Überprüfung der Robustheit von KNA-Ergebnissen wie bei Nassopoulos et al. (2012), bis hin zu umfangreichen explorativen Simulationen (z. B. Groves & Lempert, 2007; Lempert & Groves, 2010; Lempert et al., 2013). Bei den elaborierten RDM Anwendungen, die in ihrer Vorgehensweise den Arbeiten von Lempert & Schlesinger (2000) und Lempert (2003) folgen, lassen sich grundsätzlich vier Vorgehensschritte festlegen:

18.1.5.1.1. Simulation von verschiedenen Zukunftsszenarios Ein Vorteil von RDM-Methoden ist, dass nicht nur zukünftige Klimabedingungen, wirtschaftliche Entwicklungen und andere externe Bedingungen simuliert werden können, sondern auch das Zusammenspiel dieser mit zukünftigen Politikentscheidungen. So können ganze Politikstrategien mit Entscheidungsregeln modelliert werden, die je nach simuliertem Zustand unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen wählen, die auf die Entwicklung der externen Bedingungen reagieren und diese wiederum selber mitbeeinflussen. Die Konstruktion solcher Szenario-Ensembles, in denen die einzelnen Szenarios mittels einer Modellstruktur miteinander verbunden sind, erfordert die Eingabe relevanter und verfügbarer Daten. Lempert (2003) schlägt dafür ein sogenanntes XLRM-Framework vor in dem zu untersuchende Politikstrategien (L), exogene Unsicherheiten (X), Performance-Indikatoren (M) und Beziehungen (R) dieser Faktoren untereinander modelliert werden.¹⁸ Die Beziehungen spiegeln sich im Simulationscode wieder. Ein Szenariogenerator kann aus diesem Ensemble möglicher Szenarios alle plausiblen Szenarios berechnen, die als Datenstruktur mittels Data Mining weiter untersucht werden können. Dabei ist darauf zu achten, dass die Spanne der Szenarios möglichst groß ist, um auch äußerst unwahrscheinliche Szenarios abzudecken (Lempert, 2003). Die Ausprägung der Szenarios hängen dabei von parametrischer Unsicherheit (unbekannte Eingabewerte) und struktureller Unsicherheit (unbekannte Zusammenhänge) ab.

18.1.5.1.2. Identifizierung von politisch relevanten Szenarios In Groves & Lempert (2007) wird zunächst ein zukünftiger Basisumweltzustand bestimmt, für den dann die optimale Strategie berechnet wird. Groves & Lempert (2007) wählen für den Basiszustand die Simulation, in der alle Unsicherheitsparameter den gegenwärtigen Trends folgen. Als Nächstes werden alle Umweltzustände bestimmt, in denen diese optimale Strategie im Vergleich zu den anderen Alternativen besonders schlecht abschneidet. All dies passiert ohne jegliche Verwendung von Wahrscheinlichkeiten. Die Performance jeder Strategie wird für eine Vielzahl an plausiblen zukünftigen Umweltzuständen bestimmt, die die Spanne der verschiedenen Modell-Unsicherheiten (X) möglichst gut abdecken sollen. Als nächstes werden die Umweltzustände

¹⁸ Das XLRM-Framework wird auch von zum Beispiel von Lempert et al. (2013) und Groves et al. (2013) verwendet.

bestimmt, in denen die optimale Basis-Strategie am schlechtesten abschneidet. Dies entspricht den Umweltzuständen mit dem höchsten Regret („Bedauern“) im Sinne von *Minimax* bei Savage (1954):

$$Regret_M(i, k) = \max_j \{ Performance_M(j, k) \} - Performance_M(i, k)$$

Robustheit wird bei RDM zumeist definiert als eine Nicht-Überschreitung einer bestimmten Regret-Grenze.

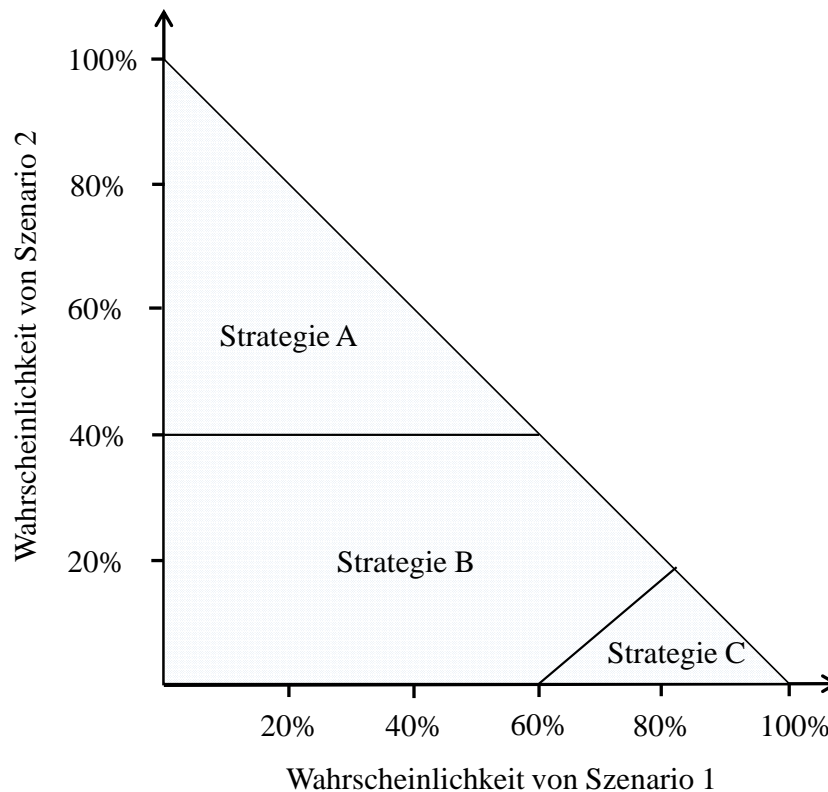
Wie Lempert et al. (2006) benutzen Groves & Lempert (2007) als nächstes die Patient Rule Induction Method (PRIM) von Friedman & Fisher (1999) als Data Mining Algorithmus, um Cluster innerhalb des Simulationsdatensatzes mit besonders hohen Regrets zu finden. Dieser Algorithmus bildet aus den hochdimensionalen Daten niedrigdimensionale Untermengen („Boxen“), bei denen der Regret eine bestimmte Grenze übersteigt. Der Algorithmus bietet dem Benutzer dann eine Auswahl an Boxen mit unterschiedlicher Dichte an relevanten Umweltzuständen (mit einem hohen Regret) und Abdeckung des gesamten Datensatzes. Diese Cluster unterscheiden sich in der Anzahl und Identität der Unsicherheitsparameter, die sie definieren. Eine Box oder ein Cluster kann dabei als Szenario verstanden werden, welches mehrere zusammengehörige Umweltzustände umfasst (z. B. alle simulierten Umweltzustände, bei denen der Temperaturanstieg mehr als 2°C beträgt und die Bevölkerung um mehr als 95 Prozent wächst). Je höher die Dichte der relevanten Umweltzustände im Szenario desto geringer wird im Allgemeinen die Abdeckung aller möglichen Umweltzustände sein.

Der Benutzer wählt dann Szenarios mit der gewünschten Kombination aus Dichte und Abdeckung, die weiter untersucht werden sollen. Dadurch wird der Fokus auf eine Untergruppe von Unsicherheitsparametern (X) gelegt, die als besonders Anpassungspolitik-relevant erachtet werden können. Gleichzeitig ergibt sich eine kleine Zahl an politisch relevanten Szenarios, die mehrere Umweltzustände umfassen. Ein politischer Entscheider, der diese Szenarios für wahrscheinlich hält, kann dann Anpassungsstrategien wählen, die in diesen Szenarios besonders gut abschneiden.

18.1.5.1.3. Probabilistische Informationen für Szenarios Auch wenn den einzelnen Szenarios keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden können, kann dennoch Entscheidungsunterstützung mittels RDM erfolgen.¹⁹ Dabei wird umgekehrt als bei den vorigen Methoden nicht zunächst die Unsicherheit beziffert: Basierend auf den simulierten Ergebnissen kann von den Benutzer der RDM den Szenarios Wahrscheinlichkeiten zugeteilt werden. Dabei wird von der Frage ausgegangen „Wie wahrscheinlich muss dieses Szenario sein, damit ein Strategiewechsel erfolgt?“ (Groves & Lempert, 2007). Da Szenarien bei RDM nicht nur einzelne Punkte im Möglichkeitsraum darstellen, mit einer Wahrscheinlichkeitsdichte von Null, sondern mehrere

¹⁹ Manche Arbeiten wenden die RDM-Methode an und verwenden dennoch Wahrscheinlichkeiten für Szenarios (z. B. Dessai & Hulme, 2007; Hall et al., 2012). Diese Modelle lassen sich als „consolidative“ bezeichnen, im Gegensatz zu den hier beschriebenen „explorativen“ Modellen (Bankes, 1993).

Abbildung 18.6.: Szenario Wahrscheinlichkeiten beim Robust Decision Making



Quelle: Eigene Darstellung nach Groves & Lempert (2007)

Umweltzustände umfassen, lassen sich Wahrscheinlichkeit auch leichter abschätzen.

In Abbildung 18.6 wird beispielsweise die optimale Anpassungsstrategie in Abhängigkeit der gewählten Szenariowahrscheinlichkeiten dargestellt. Damit also Strategie A nach RDM die optimale Anpassungsstrategie darstellt, müssen die Benutzer dem zweiten Szenario mindestens eine Wahrscheinlichkeit von 40 Prozent zuweisen. Wenn beide Szenarios als unwahrscheinlich gelten (Szenario 1 unter 60 Prozent und Szenario 2 unter 40 Prozent), dann wird in jedem Fall Strategie B die beste Alternative darstellen. Und erst wenn Szenario 1 als sehr wahrscheinlich und Szenario 2 als sehr unwahrscheinlich gilt, dann sollte Strategie C gewählt werden. Diese Darstellung kann es politischen Entscheider erleichtern, den simulierten relevanten Szenarios Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen.

18.1.5.1.4. Identifikation und Auswahl von robusten Strategien Die Identifikation von robusten Maßnahmen oder Strategien erfolgt über die Auswertung der Simulationsergebnisse. Je seltener eine Alternative die festgesetzte Regret-Schranke übersteigt, als desto robuster kann sie eingeschätzt werden. Dabei kann die Untersuchung nur auf bestimmte Szenarios oder in Abhängigkeit von bestimmten Unsicherheitsparametern vorgenommen werden. Ist eine robuste Maßnahme identifiziert, kann auch der gesamte Prozess iterativ wiederholt werden und der Regret kann in Bezug diese Alternative berechnet werden (siehe Groves, 2006). Bei der Auswahl

von robusten Strategien unterscheiden sich die Vorgehen in der Literatur jedoch erheblich.

Die meisten Arbeiten sehen davon ab, ein eindeutiges Ranking oder ähnliches aufzustellen und begnügen sich damit lediglich verschiedene Visualisierungen zur Entscheidungsunterstützung anzubieten (Groves & Lempert, 2007; Lempert & Groves, 2010; Lempert et al., 2013). In Lempert & Groves (2010) und Lempert et al. (2013) wird die Robustheit aller Alternativen in den verschiedenen Szenarios berechnet und in Abhängigkeit von zwei relevanten Unsicherheitsparametern in einem Diagramm visualisiert. Als nächstes werden die Alternativen nach Kosten und Robustheit in Abhängigkeit vom Unsicherheitsparameter geordnet und in sogenannten Trade-Off-Diagrammen visualisiert. Lempert et al. (2013) zeigen zudem eine Trade-Off-Kurve, ähnlich der einer KWA, bei der nur die wirksamsten und günstigsten Alternativen auf der Kurve liegen, während dominierte Alternativen oberhalb der Kurve ausgeschlossen werden. Gleichzeitig schreiben sie jedoch: “A more comprehensive analysis would clearly include more detailed representations of the alternative policies than available here, informed by richer data on their costs, feasibility, and other implementation factors. A more comprehensive analysis would also include uncertainties about such cost and implementation challenges in the RDM analysis.” (Lempert et al., 2013, S. 28). Der Unsicherheitsaspekt wird hier also nur unzulänglich berücksichtigt. Hall et al. (2012) verwendet dagegen für jede einzelne Alternative Visualisierungen ähnlich der in Abbildung 18.6. In Abhängigkeit von den Eintrittswahrscheinlichkeiten von zwei relevanten Szenarios wird so der simulierte Regret der Alternative angezeigt. Und je nachdem welche Wahrscheinlichkeit erwartet wird, wird die Alternative gewählt, die den geringsten Regret in diesem Punkt oder Bereich aufweist. Diese Auswahlverfahren sind nicht strikt formalisiert, derartige Visualisierungen können den Entscheidern allerdings helfen, auch neue robuste Strategien zu entwickeln, indem zum Beispiel neue Kombinationen von Anpassungsmaßnahmen suggeriert werden oder flexiblere Maßnahmen bzw. Strategien entwickelt werden (Lempert, 2003). Hall et al. (2012) weist schließlich darauf hin, dass der RDM-Methode nicht nur die Auswahl-Aufgabe zukommt, sondern auch die Aufgabe der Strukturierung der Entscheidung, was die Definition des Problemausmaßes, der Ziele und der Alternativen beinhaltet.

18.1.5.2. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

18.1.5.2.1. Allgemeine Anforderungen Die rationalisierende Wirkung des RDM ist niedriger als die der zuvor vorgestellten Methoden. Es kann zwar nicht zu hyperbolischer Diskontierung kommen, da eine Diskontierung bei der RDM-Methode nicht explizit vorgesehen ist und die Berechnung der Performance-Indikatoren bei der Simulation mitprogrammiert wird. Aber Verzerrungen aufgrund von Entscheidungsheuristiken bei der Programmierung der Simulationen sind nicht auszuschließen. Zum Beispiel wäre denkbar, dass es zu Gewinnoptimismus kommt, wenn entsprechende Performance-Variablen ohne analytische Basis aufgestellt werden. Wahrscheinlicher ist das Auftreten von Entscheidungsheuristiken jedoch bei der Auswahl von Wahrscheinlichkeitsgrenzen und Szenarios. Die Aufstellung einer Grafik wie in Abbildung 18.6 erfolgt durch direkte Abfrage bei den Entscheidern und soll dazu dienen, mit einfachen

Mitteln die Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten vorzunehmen. Gleichzeitig können bei einer derart vereinfachten Entscheidung Verzerrungen auftreten. Irrelevante Zahlen können die Einschätzung aufgrund des Anchoring-Effektes verzerren. Die Abfrage von Wahrscheinlichkeiten kann außerdem über kognitive Verfügbarkeitsheuristiken erfolgen, die von persönlichen Erinnerungen beeinflusst werden. Besonders im Klimawandelkontext sind analytische Wahrscheinlichkeiten selten und so ist es durchaus denkbar, dass diese unter Umständen subjektiv geschätzt werden. Bei einer RDM-Analyse mit diesem Vorgehen zur Wahrscheinlichkeitsbestimmung (wie z.B. bei Hall et al. 2012) ist die rationalisierende Wirkung daher eher gering. Bei Auswahlverfahren wie von Lempert & Groves (2010); Lempert et al. (2013) hingegen, welche auf analytisch programmierten Simulationen beruhen, ist die rationalisierende Wirkung in dieser Hinsicht höher, auch wenn dann nicht alle relevanten Aspekte vollständig berücksichtigt werden. Es hängt somit von der konkreten Ausgestaltung der RDM ab, wie ihre rationalisierende Wirkung ausfällt.

Da die RDM-Methode zumeist keine eindeutigen Handlungsempfehlungen liefert, sondern eher als Entscheidungsunterstützung gedacht ist, bleibt sie für politökonomische Barrieren anfällig. Der Nachteil der Nutzung des RDM Ergebnisses als Diskussionsgrundlage liegt in der Beeinflussbarkeit der Entscheidung durch Eigeninteressen von Politikern, Interessengruppen und Bürokraten. Der Mangel an quantitativen Wahrscheinlichkeiten bei der RDM-Methode macht das Ergebnis insgesamt subjektiver - es wird verstärkt durch die Wahrnehmung der Stakeholder beeinflusst. Zudem ist die RDM-Methode schlecht für das *Monitoring* staatlicher Anpassungstätigkeiten geeignet, da sie keine eindeutige Kennzahl zur Überprüfung liefert. Mit dem RDM könnte lediglich in wiederkehrenden Abständen iterativ die Robustheit der aktuellen Anpassungsstrategie überprüft werden.

Das RDM wurde für die *Anwendung bei großer Unsicherheit oder gar Ungewissheit* ohne das Vorhandensein von Wahrscheinlichkeiten entwickelt. Je nach Anwendung, zwingt die Methode die Entscheider explizit Präferenzen über die Wichtigkeit von relativen Unsicherheiten, bei der Eingabe von Modellparametern zu machen. Zudem bietet sie einen entscheidungsanalytischen Rahmen in dem zutiefst unsichere Wahrscheinlichkeiten natürlich in Szenarios mit einbegriffen werden. Anders als die zuvor beschriebenen Entscheidungsmethoden ist das RDM also besser dafür ausgelegt, Informationen zu Wahrscheinlichkeiten abzufragen und diese bei der Analyse zu berücksichtigen. Die Simulation eines breiten Spektrums an zukünftig möglichen Szenarien ermöglicht den Umgang mit Nichtvorhandensein von Wahrscheinlichkeiten im Klimaanpassungsbereich. Insgesamt erfüllt die RDM-Methode die Anforderung nach Anwendbarkeit unter Unsicherheit oder Ungewissheit.

Eine *Priorisierung* im strengen Sinne eines eindeutigen Rankings wird bei RDM selten vorgenommen. Theoretisch lassen sich die Anpassungsmaßnahmen nach Robustheit priorisieren, dafür sind die meisten RDM-Methoden jedoch nicht ausgelegt. Selbst wenn für das Performance-Ergebnis *M* eine einzelne ökonomische Variable, zum Beispiel ein Kosten-Nutzen-Faktor, gewählt wird, stellt die Untersuchung auf Robustheit dieser Variable beim RDM

keine ökonomische Abwägung dar. Dies gilt es bei der Aufstellung eines solchen Rankings zusätzlich zu beachten. Vielmehr können mit dem RDM kritische Szenarien und Aspekte aufgezeigt werden, die die Wahl einer Strategie erleichtern. Insgesamt eignet sich die RDM-Methode nicht für die eindeutige Lösung einer ökonomischen Rangfolgenproblematik, obwohl durchaus andere Rangfolgen erstellt werden können.

Ebenso verhält es sich bei der Lösung der *Auswahlproblematik*: Zwar können besonders robuste Maßnahmen oder Strategiekombinationen identifiziert werden, aber eine ökonomisch optimale Lösung wird bei der RDM-Methode üblicherweise nicht geliefert. Auch *Sortierungsproblematiken* lassen sich zwar grundsätzlich mit RDM angehen, anders als bei den anderen Entscheidungsmethoden werden üblicherweise anstatt der Anpassungsmaßnahmen jedoch die Umweltzustände kategorisiert. So werden zum Beispiel bei Lempert et al. (2006) und Groves & Lempert (2007) besonders kritische Umweltzustände nach Clustern unterteilt. Eine Kategorisierung der Anpassungsmaßnahmen, wie in Kapitel 15.1 beschrieben, wird jedoch üblicherweise nicht mit RDM vorgenommen. Die Lösung einer *Portfolioproblematik* ist mittels RDM grundsätzlich möglich, da die Synergien und Konflikte der einzelnen Anpassungsmaßnahmen bei der Programmierung der Beziehungen (R) explizit mitberücksichtigt werden können. Zudem eignet sich die RDM-Methode auch, um aus einzelnen Anpassungsmaßnahmen, zusammengesetzte Strategien aufzustellen wie zum Beispiel bei Groves & Lempert (2007). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Methode in der Regel kein ökonomisch optimiertes Portfolio liefert. Damit bedient die RDM-Methode zwei zusätzliche Entscheidungsproblematiken zufriedenstellend.

Da RDM keine strikt definierte Methode ist, sondern eher ein Sammelbegriff für verschiedene Methoden ähnlicher Art, und da die unterschiedlichen Ansätze sich teilweise beträchtlich unterscheiden, kann dies, bei einer uneinheitlichen Anwendung, die wahrgenommene *Konsistenz* der Regelanwendung und damit die *prozedurale Fairness* aus Sicht der Stakeholder mindern. Die Flexibilität der Methode ist besonders bei der Verschiedenartigkeit der Anpassungsmaßnahmen im politischen und administrativen Entscheidungsfeld von Vorteil, kann gleichzeitig aber den Eindruck von Inkonsistenz vermitteln. Die Auswahl relevanter Szenarios und die Bestimmung relevanter Parameter beruht teilweise auf Einschätzungen der Anwender. Zudem werden explizit subjektive Einschätzungen zu Wahrscheinlichkeiten eingeholt. Dadurch kann leicht der Eindruck entstehen, dass *Voreingenommenheiten* Einfluss auf die Entscheidungsbildung haben könnten, welches die prozedurale Fairness mindern würde. Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist, dass das Aufsetzen des analytischen Rahmens einer RDM relativ komplex ist und Fehler dabei nur unter relativ hohem Aufwand korrigiert werden können. Soll ein Aspekt bei der Programmierung der Simulationen korrigiert werden, müssen diese komplett wiederholt werden. Gleiches gilt für die darauf aufbauenden (z.B. visuellen) Analysen mit den Entscheidern. Damit ist die *Korrigierbarkeit* der RDM-Methode relativ gering. Da eine möglichst große Spanne von plausiblen Zukunftszuständen mit der RDM-Simulation abgedeckt werden soll, ist die *Genauigkeit* per se nicht groß, sondern es wird bewusst auf Unsicherheitsspannen gesetzt. Lediglich bei einer physikalisch-technischen Wirksamkeit der Maßnahmen kann ein genauer Zusammen-

hang zwischen klimatischen Umweltbedingungen und Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahme programmiert werden (z.B. bei Hochwasserschutzmaßnahmen zwischen Wasserpegel und betroffenen Haushalten). Die Programmierung von nicht-technischen Maßnahmen für verschiedene Umweltzustände dürfte sich hingegen schwieriger gestalten, da die eindeutigen physikalischen Zusammenhänge fehlen, auch wenn exogene gesellschaftliche oder politische Entwicklungen ebenfalls modelliert werden können. Dies führt dazu, dass besonders im politischen Entscheidungsfeld die Genauigkeit der RDM eher gering ausfallen dürfte. Die *Repräsentativität* der Entscheidung mittels RDM ist abhängig von der Detailliertheit der XLRM-Modellierung. Ist es tatsächlich möglich, alle gesellschaftlichen und sozialen Effekte staatlicher Maßnahmen in Abhängigkeit von externen Faktoren zur Simulation zu programmieren, dann ist auch die Repräsentativität der RDM-Methode hoch. Bei einer räumlich und thematisch eingeschränkten Maßnahmenauswahl ist dies eher vorstellbar als bei weitreichenden oder gesamtwirtschaftlichen Analyse, obwohl bisher eine solche Anwendung noch nicht bekannt ist. Damit ist die Repräsentativität der RDM im administrativen Entscheidungsfeld höher, im politischen Entscheidungsfeld hingegen niedriger. Insgesamt erfüllt die RDM-Methode somit keine Anforderung prozeduraler Fairness im politischen Entscheidungsfeld, während sie im administrativen Entscheidungsfeld zwei von fünf Anforderungen erfüllt.

Was die *interaktionale Fairness* angeht, kann das RDM hingegen punkten. Die Methode ist darauf ausgelegt, den Entscheidern genau die notwendigen und dennoch nicht alle verwendeten Informationen bereitzustellen. Die Methode bietet die Grundlage für eine Entscheidung, nimmt sie den Entscheidern jedoch nicht ab. Entsprechend ist auch die Menge der zur Verfügung gestellten Informationen beschränkt. Die Darstellung aller Annahmen bezüglich der Programmierung, Simulation und Weiterverarbeitung der Informationen würde die Anwender überfordern. Daher bieten sich die Informationen, auf dessen Grundlage die Anwender entscheiden, gut an, um sie der Bevölkerung zur Verfügung zu stellen. Die bestehenden Erwartungen können zudem relativ einfach formuliert werden, indem man angibt, möglichst robuste Alternativen auszusuchen, die relativ unabhängig von der zukünftigen Entwicklung gut abschneiden. Nach Lempert et al. (2006) stellt RDM eine Synthese aus kommunikativer Stärke von narrativen Szenarios und der Rigidität von quantitativen Entscheidungsmethoden dar. Insgesamt ist die interaktionale Fairness von RDM mit Erfüllung beider Determinanten als relativ hoch zu bewerten.

Da die RDM-Methode an sich auf die Robustheit der Maßnahmen und Strategien abzielt, erhöht dies gleichzeitig die Robustheit der Entscheidung. Der Ansatz selbst ähnelt einer Sensitivitätsanalyse. Theoretisch können darüber hinaus die Weite der Parameterspannen und die Auswahl der Parameter auf ihre Auswirkung auf das Ergebnis untersucht werden. Außerdem kann bei vermeintlich sicheren Parametern noch die Irrtumsanfälligkeit der Analyse untersucht werden. Insgesamt ist dank der Struktur der Simulationsmethode die Untersuchung der *Ergebnisrobustheit* expliziter Teil der Methode.

18.1.5.2.2. Politikbetonte Anforderungen Es gibt keine Garantie, dass explorative Data-Mining-Methoden eine überschaubare Anzahl an Szenarios ergeben und gleichzeitig den Großteil der zukünftigen plausiblen Umweltzustände abdecken, in denen die zu untersuchende Alternative relativ schlecht abschneidet (siehe Groves & Lempert, 2007). Bei niedriger Robustheit einer Strategie können viele relevante Unsicherheitsparameter identifiziert werden. Somit wird es schwieriger weniger, klar zusammenhängende Cluster zu finden. Dennoch lassen sich im XLRM-Framework des RDM theoretisch alle relevanten Entscheidungsfaktoren von Anpassungsmaßnahmen modellieren, womit theoretisch die *informationelle Kompatibilität* der Methode sehr hoch ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine „vollständige“ Simulation unter Einbezug aller relevanten Informationen extrem aufwendig und rechenintensiv wäre. Die Modellierung von Beziehungen und Unsicherheitsparametern scheint sich besser für technische Maßnahmen zu eignen, bei denen physische Zusammenhänge ausschlaggebend sind. Die Wirkung politischer Maßnahmen in Abhängigkeit von externen Unsicherheitsparametern ist jedoch schwieriger, da die Zusammenhänge nicht eindeutig sind. Somit genügt das RDM dieser Anforderung im administrativen Entscheidungsfeld besser als im politischen Entscheidungsfeld.

Ein Vorteil der Offenheit der RDM-Methode ist, dass sie es ermöglicht, beliebige Parameter in die Modellierung aufzunehmen bzw. sie auszulassen. Die Parameter können so ausgesucht werden, dass für ihre Kalibrierung die notwendigen Informationen verfügbar sind. Die *informationelle Flexibilität* ist somit sehr hoch.

Das RDM ist eine systematische und quantitative Methode, um eine kleine Anzahl von Szenarios mit plausiblen Zukunftsumständen zusammenzustellen, die wichtig für politische Entscheidungen sind (Groves & Lempert, 2007). Politische Entscheider sollten an der Anwendung eines solchen Verfahrens Interesse haben, da eine hohe Robustheit geringe negative „Überraschungen“ bedeutet, die in der eigenen Verantwortung stehen könnten. Mit Robustheit kann zudem in politischen Verhandlungen ähnlich argumentiert werden wie mit Optimalität. Gleichzeitig wird der diskretionäre Spielraum der Anwender nicht zu stark beschränkt, da die Ergebnisse der RDM-Methode lediglich als Entscheidungsgrundlage dienen und Wahrscheinlichkeiten oder Szenarios von den Anwendern ausgewählt werden können. Die Bedienung der Interessen auf den politischen Märkte dürfte insgesamt also relativ hoch sein.

18.1.5.2.3. Praxisbetonte Anforderungen Während die Beschränkung auf wenige relevante narrative Szenarios und Parameter beim RDM für die *Verständlichkeit* der Probleme bei der Klimaanpassung durchaus förderlich sein kann, ist die Methode an sich sehr komplex und unverständlich. Dies wird dadurch verstärkt, dass hinter dem Sammelbegriff RDM eine Vielzahl verschiedener Ansätze steckt. Sowohl die Simulation von Zukunftsszenarios als auch die Verwendung von Data Mining Algorithmen erfordert beträchtliches Expertenwissen. Die geringe Verständlichkeit senkt die Wahrscheinlichkeit der Verwendung dieser Methode besonders im administrativen Entscheidungsfeld, wo die Mittel für solche Analysen beschränkt sind.

Das RDM benötigt generell eine hohe Rechenkapazität, zudem wird ein Großteil des Auf-

wandes benötigt, um die analytische Maschinerie aufzustellen (siehe z.B. Groves & Lempert, 2007). Die Modellierung der Simulation kann sehr datenintensiv und komplex sein. Insgesamt bedarf das RDM vieler quantitativer Informationen, einer hohen Rechenkapazität sowie unabhängig vom Anwendungsbereich vieler Expertenressourcen und hat damit einen hohen *Implementationsaufwand*.

Die visuelle Darstellung der Ergebnisse bietet sich als Diskussionsgrundlage an. Die Möglichkeit zur Stakeholder-Partizipation ist eindeutig gegeben und die Kommunikationsfähigkeit der Methode ist hoch, sodass diese üblicherweise schwer zugänglichen Informationen mit RDM erfasst werden können. Zudem wird RDM oft in einen Prozess mit partizipativer Stakeholderbeteiligung eingebunden (z.B. Hall et al., 2012) und die Verwendung von narrativen Szenarios kann die Verständigung zwischen verschiedenen Stakeholdern erleichtern (z.B. Groves & Lempert, 2007). Die Möglichkeiten zur Stakeholder-Partizipation sind bei der RDM-Methode somit gegeben.

18.1.6. Multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA)

Multiattributive Entscheidungsprobleme lassen sich mathematisch generell wie folgt darstellen:

$$\max\{g_1(a_i), g_2(a_i), \dots, g_k(a_i) | a_i \in A\}.$$

Dabei bezeichnet $A = \{a_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ die endliche Menge der Handlungsalternativen und $g = \{g_c | c = 1, 2, \dots, k\}$ die Menge der Kriterien, die für die Erfüllung eines Zieles relevant sind und nach denen jede Alternative bewertet werden sollte. $g_1(a_1)$ bezeichnet beispielsweise die Bewertung der ersten Alternative nach dem ersten Kriterium (siehe Tabelle 18.1). Wie bereits in Kapitel 16 erörtert, stellen Entscheidungen in der Anpassungspolitik solche multiattributiven Probleme dar. Diese Probleme sind üblicherweise nicht ohne Weiteres mathematisch zu lösen, da es keine Alternative gibt, die alle Kriterien auf einmal optimiert. Die meisten Entscheidungsprobleme, denen wir Menschen jedoch begegnen, haben diese multiattributive Natur und bedürfen dennoch einer Lösung. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahrzehnten Methoden entwickelt, die die Lösung solcher Probleme unterstützen sollen: die sogenannten Methoden der multikriteriellen Entscheidungsanalyse (Multi Criteria Decision Analysis oder kurz: MCDA).

Die natürliche Dominanzrelation eines multi-attributiven Problems der zuvor beschriebenen Form kann für jedes Alternativenpaar $(a, b) \in A$ wie folgt definiert werden (siehe Figueira et al., 2005):

$$\begin{cases} \forall c : g_c(a) \geq g_c(b) \\ \exists k : g_k(a) > g_k(b) \end{cases} \iff aPb,$$

$$\forall c : g_c(a) = g_c(b) \iff aIb,$$

Tabelle 18.1.: Bewertungstabelle für multikriterielle Analyse

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	\cdots	$g_c(\cdot)$	\cdots	$g_k(\cdot)$
$a_1(\cdot)$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	\cdots	$g_c(a_1)$	\cdots	$g_k(a_1)$
$a_2(\cdot)$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	\cdots	$g_c(a_2)$	\cdots	$g_k(a_2)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
$a_i(\cdot)$	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	\cdots	$g_c(a_i)$	\cdots	$g_k(a_i)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
$a_n(\cdot)$	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	\cdots	$g_c(a_n)$	\cdots	$g_k(a_n)$

$$\begin{cases} \exists c : g_c(a) > g_c(b) \\ \exists k : g_k(a) < g_k(b) \end{cases} \iff aRb.$$

wobei P , I , und R jeweils für *Bevorzugung*, *Indifferenz*, und *Unvergleichbarkeit* stehen. Eine Alternative wird also der anderen vorgezogen, wenn sie bei allen Kriterien mindestens genauso gut bewertet wird wie die andere Alternative und bei mindestens einem Kriterium diese sogar übertrifft. Wenn eine Alternative in einem Kriterium besser ist als die andere Alternative und in einem schlechter, dann sind beide Alternativen unvergleichbar. Alternativen, die nicht dominiert werden, gelten als *effizient*. Vergleicht man die Alternativen nach den Kriterien mittels einer Bewertungstabelle wie in Tabelle 18.1, wird man in der Praxis häufig feststellen, dass die meisten Alternativen effizient sind, da es bei vielen paarweisen Vergleichen zu Unvergleichbarkeit kommt. Um dennoch eine Entscheidung treffen zu können, werden bei der multikriteriellen Analyse zusätzliche Informationen eingeholt, wie zum Beispiel bei Brans & Mareschal (2005, S. 166):

- Gewichtungen, die die relative Wichtigkeit der Kriterien angeben
- Eine Nutzenfunktion, die alle Kriterien in eine einzelne Funktion überführt, um ein Einkriterium-Problem zu erhalten, für welches es eine optimale Lösung gibt
- Abwägungen zwischen den Kriterien
- Präferenzen verbunden mit den einzelnen paarweisen Vergleichen bezüglich jedes Kriteriums
- Grenzwerte für Präferenz

Das Ziel aller multikriteriellen Methoden ist es, so die Anzahl der Unvergleichbarkeiten zu reduzieren. Über die Jahre hinweg wurde eine Vielzahl verschiedener Methoden für die multikriterielle Analyse entwickelt. Eine Literaturstudie von Huang et al. (2011) zeigt jedoch, dass im Umweltbereich nur eine relativ kleine Auswahl an MCDA-Methoden verwendet wird. Im Folgenden werden die vier häufigsten Methoden der multikriteriellen Analyse vorgestellt:

MAVT/MAUT, AHP, ELECTRE und PROMETHEE. Diese lassen sich in zwei Kategorien unterteilen, welche auf Eignung zur Verwendung bei der Steuerung staatlicher Klimaanpassung untersucht werden: Additive Wertgewichtungsmethoden und Outranking-Methoden.

18.1.6.1. Additive Wertgewichtungsmethoden

18.1.6.1.1. Multiattributive Nutzen- und Wertmethoden nach MAVT/MAUT Die grundsätzlichen Bedingungen zur Darstellung von Präferenzen mit mehreren relevanten Kriterien wurden in der Multiattribute Value Theory (MAVT) und Multiattribute Utility Theory (MAUT) hergeleitet.²⁰ Die multiattributive Präferenztheorie stellt insgesamt die axiomatische Grundlage für Entscheidungen mit mehreren Kriterien dar und beschreibt Bedingungen, unter denen eine multiattributive Präferenzfunktion in additive oder multiplikative Formen bei Sicherheit (MAVT) oder Unsicherheit (MAUT) zerlegt werden kann. Für eine detaillierte Beschreibung dieser Bedingungen siehe Figueira et al. (2005, Kapitel 7).

Wenn die Präferenzen der Entscheider unabhängig im Sinne von Keeney & Raiffa (1993) und trennbar im Sinne von Gorman (1968) sind, dann können sie durch eine lineare additive Funktion in Abhängigkeit von mehreren Kriterien abgebildet werden (Tzeng & Huang, 2011):

$$u_i(x) = \sum_{c=1}^k w_c g_{ic}(x).$$

Wobei $u_i(x)$ den Nutzen der i-ten Alternative von $i = 1, 2, \dots, n$, w_c die Gewichtung des c-ten Bewertungskriteriums und $g_{ic}(x)$ die normierte Bewertung der i-ten Alternative bezüglich des c-ten Kriteriums für alle vergleichbaren Einheiten bezeichnet. Die optimale Alternative kann aus der Maximierung der Nutzenfunktion berechnet werden:

$$A^* = \{u_i(x) | \max_i u_i(x) | i = 1, 2, \dots, n\}.$$

Zur Normierung der Bewertungen $g_{ic}(x)$, sodass sich $0 \leq g_{ic}(x) \leq 1$ ergibt, gibt es verschiedene Möglichkeiten (Tzeng & Huang, 2011):

- Für Nutzenkriterien, bei denen mehr besser ist:
 - $g_{ic}(x) = x_{ic}/x_c^*$, wobei entweder $x_c^* = \max_i x_{ic}$ oder x_c^* einem angestrebtem Wert entspricht
 - $g_{ic}(x) = (x_{ic} - x_c^-)/(x_c^* - x_c^-)$, wobei entweder $x_c^* = \max_i x_{ic}$ und $x_c^- = \min_i x_{ic}$ entspricht oder x_c^* einem angestrebten Wert und x_c^- dem am wenigsten erwünschten Wert entspricht
- Für Kostenkriterien, bei denen weniger besser ist:

²⁰ MAVT basiert zumeist auf ordinalen Vergleichen von Alternativen oder auf Präferenzstärkeunterschieden zwischen Alternativenpaaren bei Sicherheit. MAUT dagegen basiert auf Axiomen von Neumann & Morgenstern (1947), die sich auf Situationen unter Unsicherheit beziehen.

- $g_{ic}(x) = (1/x_{ic})/(1/x_c^*)$, wobei entweder $x_c^* = \max_i x_{ic}$ oder x_c^* einem angestrebten Wert entspricht
- $g_{ic}(x) = (x_c^- - x_{ic})/(x_c^- - x_c^*)$, wobei entweder $x_c^* = \max_i x_{ic}$ und $x_c^- = \min_i x_{ic}$ entspricht oder x_c^* einem angestrebten Wert und x_c^- dem am wenigsten erwünschten Wert entspricht.

Die Gesamtbewertung einer Alternative berechnet sich dann als:

$$g_i = \sum_{c=1}^k w_c g_{ic} \quad (18.1)$$

Die Bestimmung der Gewichte kann auf sehr unterschiedliche Weisen erfolgen. Folgende drei Gewichtungungsverfahren werden dabei besonders häufig verwendet (Linkov & Moberg, 2011) und sollen hier vorgestellt werden: das einfache Ranking, das Swing-Weight-Verfahren und der paarweise Vergleich nach AHP-Methode.

Einfaches Ranking Beim einfachen Ranking werden insgesamt 100 (Prozent-)Punkte auf alle Entscheidungskriterien entsprechend ihrer Wichtigkeit verteilt und normalisiert, indem jeweils wieder durch 100 geteilt wird. Der sich ergebende Gewichtungsfaktor stellt ein Maß für die Wichtigkeit des einzelnen Kriteriums zur Erfüllung der Gesamtziele dar.

Swing-Weight-Verfahren Beim Swing-Weight-Verfahren gliedert sich das Vorgehen in vier Schritte:

1. Eine fiktive Alternative wird angenommen, die in allen Kriterien die schlechteste Bewertung aufweist.
2. Die Entscheider werden befragt, welches Kriterium sie am liebsten von der schlechtesten zur besten Ausprägung verändern würden. Dieses Kriterium erhält den Gewichtungswert 100.
3. Die restlichen Kriterien werden nacheinander vom wichtigsten zum unwichtigsten mit diesem Kriterium verglichen und auf einer Skala von 0-100 bewertet.
4. Die Kriteriengewichte werden berechnet indem jeder Gewichtungswert durch die Summe aller Gewichtungswerte geteilt wird.

Paarweiser Vergleich und Eigenvektormethode nach AHP Das Kernstück der Analytic Hierarchy Process (AHP) Methode nach Saaty (1977, 1980) ist die Gewichtung der Entscheidungskriterien mittels paarweisem Vergleich. Der relative oder komparative Vergleich von je zwei Attributen soll es dem Entscheider erleichtern, schwer fassbare Gewichtungen genauer und wissenschaftlicher einzuschätzen, in einem Verfahren, welches besser dem biologischen und

psychologischen Eigenschaften des Menschen entspricht als eine absolute Einschätzung oder Rangfolgenbildung. Der Erfinder der AHP-Methode Thomas L. Saaty schreibt: *“The ability to do pairwise comparisons is our biological heritage and we need it to cope with a world where everything is relative and constantly changing. (Saaty, 2005, S. 345) [...] Because decision-making is the most frequent activity of all people all the time, the techniques used today to help people make better decisions should probably remain closer to the biology and psychology of people. (Saaty, 2005, S. 346)“*

Beim paarweisen Vergleich nach AHP wird jedes der k Kriterien mit jedem anderen Kriterium bezüglich seiner relativen Wichtigkeit verglichen. Konkret wird abgefragt, wie viel wichtiger ein Kriterium als das andere zur Erreichung des Ziels ist. Diese relativen Bewertungen werden in eine entsprechende Matrix A eingetragen.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_k \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_i \\ \vdots \\ C_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{ik} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{k1} & \cdots & a_{kj} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

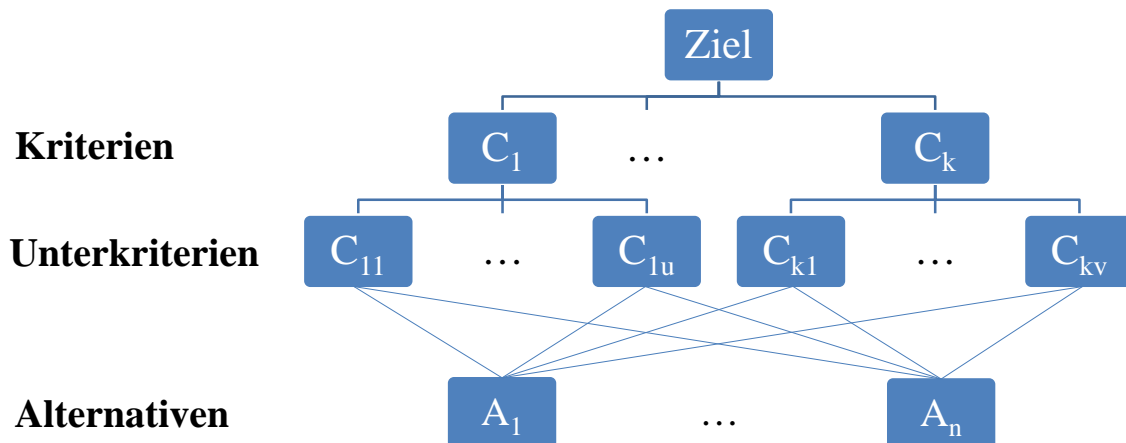
Ist Kriterium C_1 vier mal wichtiger als Kriterium C_2 , dann wird entsprechend $a_{12} = 4$ eingetragen. Bedingung bei dieser Abfrage ist lediglich, dass die Gewichtungsmatrix A reziprok bleibt und $a_{ij} = 1/a_{ji}$ entspricht. In unserem Beispiel muss deswegen $a_{21} = \frac{1}{4}$ lauten. Aus dieser Matrix lassen sich mittels Eigenvektormethode die allgemeinen Gewichte der Kriterien $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)'$ ableiten. Die algebraische Herleitung der Eigenvektormethode und die Überprüfung der Paarvergleiche in Matrix A auf Inkonsistenz wird in Anhang B genauer erläutert.

Die resultierenden Gewichtungen können für einfache additive Wertgewichtungsbewertungen nach Formel 18.1 verwendet werden. Entwickelt wurde dieses Vorgehen jedoch als Teil einer eigenen Entscheidungsmethode, der AHP-Methode. Diese multiattributive Nutzenmethode wird im nächsten Abschnitt genauer erläutert.

18.1.6.1.2. Analytic Hierarchy Process (AHP) Der Analytic Hierarchy Process (AHP) wurde von Saaty (1977) eingeführt und ist bis heute eine viel verwendete Methode der multikriteriellen Analyse. Obwohl die Methode nicht als Teil der Entscheidungstheorie entwickelt wurde, weist sie sehr viele Ähnlichkeiten zu dem vorhin erwähnten MAVT Ansatz auf und wird somit unter multiattributiven additiven Wertmethoden geführt (Belton & Stewart, 2002). Beim AHP werden die Entscheidungsprobleme in eine hierarchische Struktur überführt und dann mittels paarweiser Vergleiche bewertet.

Eine hierarchische Struktur mit vier Ebenen ist in Abbildung 18.7 dargestellt. Auf der ersten Ebene steht das Ziel, welches mit den Handlungsalternativen erreicht werden soll. Auf zweiter

Abbildung 18.7.: Hierarchische Struktur bei AHP



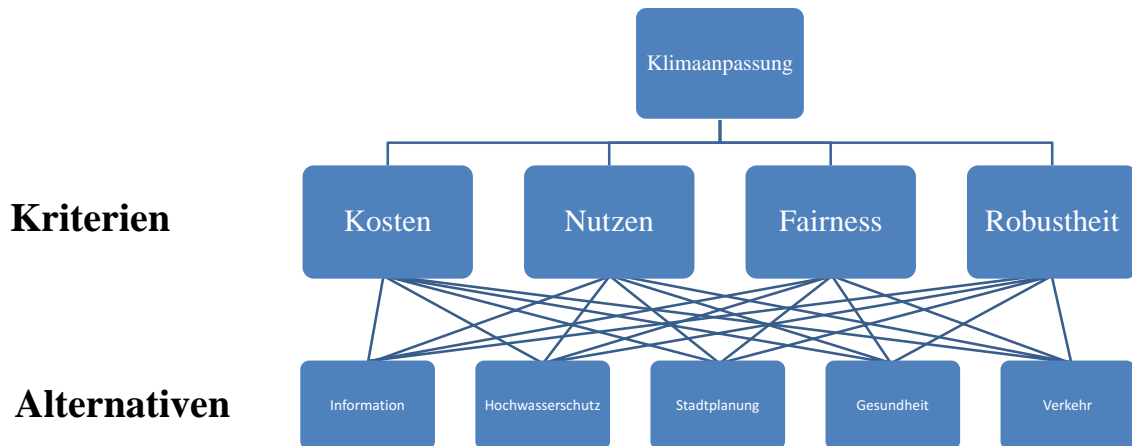
und dritter Ebene sind Kriterien und Unterkriterien zur Bewertung der Eignung der Anpassungsalternativen zur Erreichung dieses Zieles zu finden. Dabei können beliebig viele Kriterien und Unterkriterien verwendet werden, als auch beliebig viele Unterebenen (dann mit Unterunterkriterien usw.). Auf der letzten Ebene befinden sich schließlich die vorhandenen Alternativen, die hinsichtlich jedes Unterkriteriums der vorletzten Hierarchieebene bewertet werden.

Zunächst werden die Gewichte der Kriterien $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)'$ mittels paarweiser Vergleiche ihrer Wichtigkeit und des in Abschnitt 18.1.6.1 bereits vorgestellten Eigenvektorverfahrens bestimmt. Selbiges wird für die lokalen Gewichte der Unterkriterien durchgeführt. Die Prioritäten der Alternativen bezüglich jedes Unterkriteriums werden ebenfalls mit dem gleichen Vorgehen bestimmt: Aufstellen einer reziproken Matrix mit relativer Eignung der Alternativen im paarweisen Vergleich und Bestimmen der allgemeinen Priorität mittels des normalisierten Eigenvektors der Matrix. Diese Prioritäten werden für jedes Unterkriterium einzeln berechnet und dann über die Gewichtungen zu einer globalen Priorisierung auf erster Ebene zusammengeführt.

Nehmen wir beispielsweise an, es gibt fünf Anpassungsalternativen: Anpassung des Hochwasserschutzes, der Stadtplanung, des Gesundheitswesens, der Verkehrsinfrastruktur und Informationsbereitstellung. Diese Alternativen sollen nach vier Kriterien bewertet werden: Kosten, Nutzen, Fairness und Robustheit. Die hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems sieht in diesem Fall aus wie in Abbildung 18.8.

Angenommen die paarweisen Vergleiche der Kriterien nach ihrer Wichtigkeit ergeben durch Befragung der Entscheider die reziproke Matrix in Tabelle 18.2a, dann ergeben sich daraus

Abbildung 18.8.: Beispiel für AHP Hierarchie in der Klimaanpassung



mittels des Eigenvektorverfahrens folgende Kriteriengewichte:²¹

$$w \begin{pmatrix} \text{Kosten} \\ \text{Nutzen} \\ \text{Fairness} \\ \text{Robustheit} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 37\% \\ 37\% \\ 8\% \\ 18\% \end{pmatrix}.$$

Die Bewertung der Alternativen erfolgt nach dem gleichen Vorgehen. Für jedes Kriterium werden alle Alternativen in paarweisen Vergleichen auf einer Skala von 1/9, 1/8...8, 9 bezüglich ihrer Eignung bewertet. In Tabelle 18.2b ist solch eine Matrix beispielsweise für das Kriterium *Kosten* dargestellt. Dann wird jeweils mit dem Eigenvektorverfahren eine einheitliche Bewertung für jede Alternative berechnet. In unserem Beispiel ergeben sich folgende Bewertungen für die Kriterien (1) Kosten, (2) Nutzen, (3) Fairness, (4) Robustheit:

$$\begin{pmatrix} \text{Information} \\ \text{Hochwasserschutz} \\ \text{Stadtplanung} \\ \text{Gesundheit} \\ \text{Infrastruktur} \end{pmatrix} = (1) \begin{pmatrix} 0,4012 \\ 0,0865 \\ 0,2812 \\ 0,0559 \\ 0,1752 \end{pmatrix} \quad (2) \begin{pmatrix} 0,0792 \\ 0,4020 \\ 0,0801 \\ 0,4138 \\ 0,0250 \end{pmatrix} \quad (3) \begin{pmatrix} 0,3580 \\ 0,1051 \\ 0,2025 \\ 0,2442 \\ 0,0902 \end{pmatrix} \quad (4) \begin{pmatrix} 0,2253 \\ 0,0813 \\ 0,1213 \\ 0,4214 \\ 0,1507 \end{pmatrix}$$

Gewichten wir nun jede dieser Bewertungen mit den Kriteriengewichten w , dann erhalten wir folgende Gesamtbewertung:

²¹ Zur Überprüfung der Konsistenz der paarweisen Vergleiche kann der höchste Eigenwert der Matrix (λ_{max}) mit der Anzahl der Kriterien verglichen werden. Je größer die Inkonsistenz desto höher die Abweichung. Ein geringes Maß an Inkonsistenz ist erlaubt und erwünscht, bei zu hoher Konsistenz kann die Eigenvektormethode zur Berechnung der allgemeinen Gewichte w jedoch nicht mehr verwendet werden. Konkrete Grenzwerte für die Anwendbarkeit der Eigenvektormethode sind dabei für die Konsistenzkennzahlen $C.I.$ und $C.R.$ gegeben. Diese werden in Anhang B genauer erläutert.

Tabelle 18.2.: Beispiel für Kriteriengewichtung und Alternativenbewertung mittels paarweisem Vergleich nach AHP

(a) Kriteriengewichtung					
Kriterien	Kosten	Nutzen	Fairness	Robustheit	Gewichtung
Kosten	1	1	5	2	37%
Nutzen	1	1	5	2	37%
Fairness	1/5	1/5	1	1/2	8%
Robustheit	1/2	1/2	2	1	18%

$$C.I. = 0,0021 \quad C.R. = 0,0023 \quad \lambda_{max} = 4,006$$

(b) Alternativenbewertung für das Kriterium <i>Kosten</i>						
Alternativen	Info.	Hochw.	Stadtpl.	Gesundh.	Infra.	Bewertung
Information	1	4	2	5	3	0,4012
Hochwasserschutz	1/4	1	1/5	2	1/2	0,0865
Stadtplanung	1/2	5	1	4	2	0,2812
Gesundheit	1/5	1/2	1/4	1	1/5	0,0559
Infrastruktur	1/3	2	1/2	5	1	0,1752

$$C.I. = 0,0460 \quad C.R. = 0,0411 \quad \lambda_{max} = 5,184$$

$$\begin{pmatrix} 0,4012 & 0,0792 & 0,3580 & 0,2253 \\ 0,0865 & 0,4020 & 0,1051 & 0,0813 \\ 0,2812 & 0,0801 & 0,2025 & 0,1213 \\ 0,0559 & 0,4138 & 0,2442 & 0,4214 \\ 0,1752 & 0,0250 & 0,0902 & 0,1507 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,37 \\ 0,37 \\ 0,08 \\ 0,18 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,4012 \\ 0,0865 \\ 0,2812 \\ 0,0559 \\ 0,1752 \end{pmatrix}$$

Somit ergibt sich folgende Rangfolge der Anpassungsalternativen:

1. Informationsbereitstellung
2. Stadtplanung
3. Verkehrsinfrastruktur
4. Hochwasserschutz
5. Gesundheitswesen

Saaty (1996) führte zudem als Erweiterung der AHP-Methode den Analytic Network Process (ANP) ein. In diesem wird mit Aufstellung eines Netzwerks in Form einer Supermatrix die Abhängigkeit der Kriterien untereinander erlaubt. Somit können Rückkopplungseffekte zwischen Kriterien und Alternativen modelliert werden.

18.1.6.1.3. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

Allgemeine Anforderungen Die *rationalisierende Wirkung* von additiven Wertgewichtungsmethoden ist relativ gering. Sowohl bei MAUT/MAVT als auch bei AHP kann es zu hyperbolischer Diskontierung kommen. Die relative Wichtigkeit von Alternativen bei AHP bewertet und aggregiert im Bereich der Klimaanpassung zwangsweise in der Zukunft verteilt liegende Teileffekte. Wenn weiter in der Zukunft liegende Effekte von dem Anwender kognitiv stärker diskontiert werden als zeitnähere Effekte, dann kann es zu zeitlichen Inkonsistenzen kommen, die gemeinhin als irrational bezeichnet werden. Die AHP bietet dem Anwender zu dieser komplexen Bewertung keine Hilfestellung, sondern fragt bewusst die intuitive Einschätzung ab, die aber deswegen für diese Art von Verhaltensbarriere anfällig ist. Gerade bei Anpassungsmaßnahmen mit langen Laufzeiten fällt eine intuitive Diskontierung der weit in der Zukunft verstreut liegenden Effekte schwer und unterschiedliche implizite Diskontierung sorgt für große Unterschiede. Die MAUT/MAVT ist hingegen sehr allgemein gehalten und bietet keine Einschränkungen bei der Bewertung der Handlungsalternativen $g(x)$ und bezüglich der Diskontierung. Dies bedeutet, dass die Bewertung entweder wie bei KWA oder KNA auch mit expliziter Diskontierung oder intuitiv wie bei AHP vorgenommen werden kann. Es hängt also von der konkreten Ausgestaltung der MAUT/MAVT Bewertung ab, ob es zu hyperbolischer Diskontierung kommen kann. Ähnlich verhält es sich bei der Anfälligkeit der Methoden für kognitive Entscheidungsheuristiken. Da es sich bei der AHP um eine Methode mit schnellen intuitiven Bewertungen handelt, können diese aufgrund von Ankerheuristiken von irrelevanten Zahlen verzerrt werden. Auch persönliche Erinnerungen können als Verfügbarkeitsheuristik die Bewertungen verzerren. Zudem besteht ein in der Literatur nachgewiesenes Framing Problem bei der Ermittlung von Gewichten: Wenn ein Kriterium als Verlust relativ zu einem Referenzpunkt dargestellt wird, wird es höher gewichtet als dasselbe Kriterium formuliert als Gewinn relativ zu einem anderen Referenzpunkt (Weber & Borchering, 1993). Es wurde außerdem gezeigt, dass die Summe der separat ermittelten Unterkriterium-Gewichte oft größer gewählt wird als die aggregierte Einschätzung des Oberkriterium-Gewichtes (Weber et al., 1988). Bei Reflexivität der Präferenzordnung müssten sich jedoch beide Einschätzungen entsprechen. Zudem führt der sogenannte Hierarchy Level Effect dazu, dass das Gewicht für ein Kriterium dazu tendiert, größer zu sein, je höher die hierarchische Ebene ist auf der es angesiedelt wird (Belton & Stewart, 2002; Weber & Borchering, 1993), was ebenso dem Reflexivitätsaxiom der ökonomischen Rationalität widerspricht. Bei MAUT/MAVT Methoden hängt die Anfälligkeit für kognitive Verzerrungen nochmals von der konkreten Ausgestaltung der Bewertung ab. Potenziell sind jedoch auch bei MAUT/MAVT alle in Kapitel 6.1.5 beschriebenen Verhaltensbarrieren der Klimaanpassung denkbar. Bei der Gewichtsermittlung mittels einfachem Ranking, Swing-Weight-Verfahren und paarweisem Vergleich können ebenso wie bei der AHP-Methode Anker- und Verfügbarkeitsheuristiken sowie Framing bei den Kriteriengestaltung, zu Verzerrungen führen.

Zum Monitoring staatlicher Klimaanpassung eignen sich additive Wertgewichtungsmethoden nur bedingt. Zwar erhält man sowohl bei MAUT/MAVT als auch bei AHP eine eindeu-

tige Kennzahl, deren Berechnung transparent ist und anhand derer sich die staatliche Anpassung überprüfen lässt. Jedoch beruht diese Kennzahl bei beiden Methoden zu großen Teilen auf subjektiven Einschätzungen und gibt wenig Aufschluss über die ökonomische Optimalität der Auswahl. Somit bleiben bei der Berechnung genügend Einflussmöglichkeiten von Eigeninteressen, sodass eine gemäß AHP oder MAUT/MAVT optimale staatliche Anpassung sozial ineffizient sein kann. Additive Wertgewichtungsmethoden eignen sich daher nur zum Monitoring der staatlichen Anpassungsaktivitäten, wenn die Unabhängigkeit der vorgenommenen Bewertungen sichergestellt werden kann, indem die Bewertung zum Beispiel an unabhängige Forschungseinrichtungen abgegeben wird.

Additive Wertgewichtungsmethoden eignen sich nur teilweise für den *Einsatz unter Unsicherheit oder Ungewissheit*. MAUT Methoden sind zwar explizit für die Anwendung unter Unsicherheit konzipiert, erfordern gleichzeitig jedoch auch die Angabe von Eintrittswahrscheinlichkeiten, die im Bereich der Klimawandelanpassung jedoch kaum gegeben sind. MAVT und AHP hingegen besitzen zwar keine methodische Modellierung von Unsicherheit, lassen jedoch durch die qualitative Bewertung von Risiko (wie bei Saaty, 2007) eine indirekte Miteinbeziehung von Unsicherheit zu. Bei „tiefer“ Unsicherheit oder Ungewissheit bieten sich additive Wertgewichtungsmethoden somit nur bedingt an.

Eine *Priorisierung* mittels MAVT und MAUT nach Nutzenwerten oder mittels AHP ist das übliche Ergebnis dieser Methoden. Anhand einer solchen Rangfolge können dann in Abhängigkeit des Budgets die umzusetzenden Anpassungsmaßnahmen ausgewählt werden. Die Kriterien können bei der Bewertung so gewählt werden, dass sie alle relevanten Aspekte optimaler Anpassung abdecken: Kosten, Nutzen, distributive Fairness und Robustheit. Bei der Auswahl der zu bewertenden Kriterien muss lediglich beachtet werden, dass die Axiome der Unabhängigkeit und Trennbarkeit der Präferenzen nicht verletzt werden. Somit eignen sich additive Wertgewichtungsmethoden gut für die Lösung von Rangfolgenproblematiken.

Auch *weitere Entscheidungsproblematiken* können mittels additiver Wertgewichtungsmethoden bedient werden. Die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen kann bei MAVT/MAUT und AHP mittels des höchsten Nutzenwertes oder einer Gesamtbewertung vorgenommen werden. Für die Lösung einer Sortierungsproblematik eignen sich diese Methoden hingegen weniger, da die Nutzenwerte und AHP Bewertungen nicht direkt interpretierbar sind und somit eine Unterteilung von Kategorien nach ihnen nicht sinnvoll ist. Die Lösung einer Portfolioproblematik kann nicht im eigentlichen Sinne vorgenommen werden. Synergien und Konflikte mit anderen Maßnahmen können zwar als Kriterium modelliert werden, jedoch umfasst ein solches Kriterium Synergien und Konflikte mit *allen* anderen Maßnahmen. Eine Auswahl einer Teilmenge an Handlungsalternativen, die das Nettoergebnis aus Synergien und Konflikten maximiert, ist auf diese Weise nicht möglich. Somit bedienen additive Wertgewichtungsmethoden nur eine von drei potentiellen weiteren Entscheidungsproblematiken.

Die für die *prozedurale Fairness* relevante wahrgenommene *Konsistenz* der AHP-Methode kann durch inkonsistente paarweise Vergleiche gemindert werden, die zwar methodisch durch-

aus zugelassen sind jedoch nur in einem begrenztem Maße (siehe Anhang B). Da die Bewertung bei MAUT und MAVT nicht spezifisch festgelegt ist, kann es auch hier zu Inkonsistenzen kommen, wenn die verschiedenen Entscheidungskriterien mit unterschiedlichen Vorgehensweisen bewertet werden. Besonders im politischen Entscheidungsfeld kann es schwierig sein, Nutzen oder Wert politischer Instrumente konsistent zu bewerten, da ihre Effekte sehr vielfältig und verschiedenartig sind. Insgesamt kann die wahrgenommene Konsistenz der additiven Wertgewichtungsmethoden dadurch gering ausfallen und die prozedurale Fairness mindern. Zudem können additive Wertgewichtungsmethoden voreingenommen wirken, da die Bewertungen und Gewichtungen sowohl bei MAVT/MAUT als auch bei AHP auf subjektiven Einschätzungen beruhen. Die prozedurale Anforderung nach *Unvoreingenommenheit* erfüllen die additiven Wertgewichtungsmethoden somit nicht. Die *Korrigierbarkeit* aller MAUT und MAVT Methoden ist hoch, da einzelne Werte ausgetauscht werden können, ohne die gesamte Bewertung nochmals durchführen zu müssen. Da die AHP-Methode hingegen mit paarweisen Vergleichen arbeitet, müssen bei Änderung der Bewertung einer Alternative mehrere relative Bewertungen in Bezug auf diese Alternative geändert werden, was die Korrigierbarkeit jedoch nur unerheblich mindert. Somit ist die Korrigierbarkeit von additiven Wertgewichtungsmethoden dennoch insgesamt als hoch einzuschätzen. Die *Genauigkeit* der AHP Bewertung ist wegen der einheitlich skalierten paarweisen Vergleiche tendenziell gering, da auf diese Art und Weise spezifische Informationen lediglich grob in die Bewertung einfließen können. Bei MAUT/MAVT Methoden können zwar theoretisch alle relevanten Informationen mit verschiedenen skalierten Entscheidungskriterien erfasst werden (die Bewertungen können anschließend zur Addition normiert werden), jedoch müssen innerhalb eines Kriteriums die Bewertungen in einer gemeinsamen Einheit (monetärer, physikalischer oder sonstiger Wert) erfasst werden. Die Schwierigkeiten bei der monetären Bewertung vermeintlich einfacher Kriterien wie Kosten oder Nutzen im Anpassungsbereich wurde bereits in Kapitel 16 diskutiert. Die Möglichkeit zum Ausweichen auf andere Einheiten als Währung könnte die von den Stakeholdern wahrgenommene Genauigkeit im Vergleich zur KNA steigern, obwohl die Operationalisierung von Entscheidungskriterien wie distributive Fairness und Robustheit dennoch schwierig und erwartungsweise ungenau ist. Im politischen Entscheidungsfeld ist jedoch damit zu rechnen, dass aufgrund der komplexen Wirkungsweise der verfügbaren politischen Instrumente die Bewertung nur grob vorgenommen werden kann. Im administrativen Entscheidungsfeld hingegen ist aufgrund der thematischen oder technischen Ähnlichkeit der Anpassungsmaßnahmen eine gemeinsame und dennoch genaue (z.B. physikalische) Nutzeneinheit vorstellbar, die zudem eine genauere Berechnung der paarweisen Vergleiche bei der AHP-Methode ermöglicht. Somit ist die wahrgenommene Genauigkeit der additiven Wertgewichtungsmethoden im administrativen Entscheidungsfeld tendenziell höher als im politischen Entscheidungsfeld. Die *Repräsentativität* von additiven Wertgewichtungsmethoden ist im administrativen Entscheidungsfeld ebenfalls höher. Aufgrund der flexiblen Kriterienwahl können sowohl bei AHP als auch bei MAUT/MAVT die Effekte der Anpassungsmaßnahmen für verschiedene Stakeholder-Gruppen mit zusätzlichen Kriterien berücksichtigt werden, jedoch ist

die Wirkung der Anpassungsmaßnahmen im politischen Entscheidungsfeld so vielfältig, dass eine vollständige Erfassung aller Effekte dennoch schwierig ist. Besonders bei AHP steigt mit der Kriterienanzahl die Zahl der paarweisen Vergleiche schnell an und macht somit eine repräsentative Verwendung im politischen Bereich schwierig. Insgesamt erfüllen die additiven Wertgewichtungsmethoden im politischen Anwendungsbereich nur eine Anforderung prozeduraler Fairness, während sie im administrativen Entscheidungsfeld drei von fünf Anforderungen erfüllen.

Die Bereitstellung der notwendigen Informationen ist bei der AHP-Methode weitaus einfacher als bei den anderen Entscheidungsmethoden, da alle Eingaben mit einer Matrix und einem Gewichtungsvektor abgedeckt werden. Lediglich wenn die paarweisen Vergleiche auf anderen Bewertungen beruhen, müssten zusätzliche Informationen bereitgestellt werden. Bei den MAUT oder MAVT Methoden hängt der Informationsumfang von der Ausgestaltung der Kriterien ab. Wenn deren Beurteilung komplizierte Bewertungen zugrunde liegen, gestaltet sich auch die Bereitstellung der notwendigen Informationen an die Stakeholder schwieriger und die informationelle Fairness sinkt. Da jedoch, im Gegensatz zu den Entscheidungsmethoden mit Monetarisierung, keine Maß- oder Bewertungseinheit festgelegt ist, können auch qualitative Informationen verwendet werden. Diese erleichtern die Darstellung der relevanten Informationen und erhöhen die wahrgenommene interaktionale Fairness. Mit steigender Anzahl der Entscheidungskriterien erschwert sich bei beiden Methoden die klare Mitteilung der bestehenden Erwartungen. Bei der Anpassung an den Klimawandel sind vier grundlegende Entscheidungskriterien relevant: Kosten, Nutzen, distributive Fairness und Robustheit (siehe Abschnitt 16). Die Erwartungen an das Entscheidungsergebnis sind somit komplexer als zum Beispiel bei einer KNA, lassen sich jedoch verständlich erklären. Auch die Berechnung der Kriteriengewichte ist relativ leicht verständlich und lässt sich somit einfach vermitteln. Insgesamt ist die *interaktionale Fairness* von additiven Wertgewichtungsmethoden relativ hoch.

Zur Überprüfung der *Robustheit* des Ergebnisses bietet die Literatur zwar sowohl für MAVT/MAUT als auch spezifisch für AHP-Methoden Ansätze für Sensitivitätsanalysen (siehe z.B.: Triantaphyllou & Sánchez, 1997; Zhu et al., 2005). Auf Basis des Ergebnisses der Sensitivitätsanalysen können die Bewertungen oder Eingaben mit dem größten Einfluss präzisiert werden, um die Robustheit des Entscheidungsergebnisses sicherzustellen. Eine explizite Berücksichtigung von Ergebnisrobustheit bei der Entscheidungsfindung bieten die Methoden jedoch nicht und genügen dieser Anforderung somit nur teilweise.

Politikbetonte Anforderungen Die Verwendung von Nutzenbewertungen bei MAUT und MAVT, sowie die Verwendung von paarweisen Vergleichen bei AHP, ermöglicht im Prinzip die Einbeziehung von Informationen aller Skalierungen. Sowohl qualitative als auch quantitative Informationen können miteinbezogen werden, indem sie einer Nutzenbewertung unterzogen werden oder im paarweisen Vergleich bewertet werden. Auch die bei der Klimaanpassung relevanten distributiven Aspekte und Robustheit lassen sich so in die Entscheidungsfindung mit-

einbeziehen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die vereinfachende Bewertung mittels paarweisen Vergleichs gleichzeitig einen Informationsverlust mit sich bringt, der mit der Komplexität des zu bewertenden Kriteriums steigt. Die *informationelle Kompatibilität* der additiven Wertgewichtungsmethoden für die Anwendung im Anpassungsbereich ist im Vergleich zu den anderen Entscheidungsmethoden dennoch insgesamt hoch.

Ebenso verfügen additive Wertgewichtungsmethoden über eine hohe *informationelle Flexibilität*, da die Kriterien je nach Informationsverfügbarkeit frei gewählt werden können. Im Gegensatz zu den zuvor vorgestellten Methoden gibt es keine Einschränkungen bezüglich einzubeziehender Informationen. Informationen, die nicht verfügbar sind, können bei der Durchführung der Entscheidungsmethode ausgelassen werden, ohne dass das Funktionieren der Methode beeinträchtigt wird. In dieser Hinsicht bieten sich die additiven Wertgewichtungsmethoden gut für die staatliche Klimaanpassung an, bei der die Informationsgrundlage je nach Einsatzgebiet stark variieren kann.

Trotz eventueller Inkonsistenzen bei den paarweisen Vergleichen der AHP-Methode lassen sich die Ergebnisse von additiven Wertgewichtungsmethoden insgesamt als Beleg für Optimalität verwenden, auch wenn es sich gegebenenfalls lediglich um eine subjektive Optimalität handelt. Die Formalisierung und mathematische Strukturierung der Entscheidungsprozesse kann helfen, einen objektiveren Eindruck zu vermitteln, was in politischen Verhandlungen und bei der Wählerstimmengewinnung hilft. Gleichzeitig bieten die additiven Wertgewichtungsmethoden genug diskretionäre Spielräume, sodass die Verwendung dieser Methoden für politische Entscheider attraktiv bleibt. Somit ist die *Interessenbedienung auf politischen Märkten* insgesamt als hoch einzuschätzen.

Praxisbetonte Anforderungen Während die Grundstruktur des MAVT und MAUT Ansatzes generell einfach verständlich ist, finden sich in der wissenschaftlichen Literatur dennoch Bedenken bezüglich ihrer Anwendbarkeit. Brans & Mareschal (2005) zweifelt an, dass die Übersetzung von Präferenzen in eine einzige Funktion für Menschen funktioniert. Laut Von Nitzsch & Weber (1993) tendieren die Benutzer dieser Methoden zudem dazu, absolute Kriteriengewichte unabhängig von Skalierung der Kriterien und Entscheidungsmethoden zu vergeben. Dabei sollten sich numerische Gewichtsparameter je nach gewähltem Präferenzmodell oder der Spanne der Alternativenausprägungen unterscheiden (Belton & Stewart, 2002, S. 114). Ebenso müssen die Kriteriengewichte bei AHP angepasst werden, wenn neue Alternativen aufgenommen werden, da es sonst zu „Rank Reversal“ kommt (Belton & Gear, 1983), einer Veränderung der Reihenfolge der Alternativen bei Aufnahme einer neuen Alternative ohne Änderung der Skala der Kriterien. Laut Belton & Stewart (2002, S. 158-159) scheinen die meisten Anwender dies jedoch zu ignorieren. All dies deutet darauf hin, dass es sowohl bei MAVT und MAUT als auch bei AHP aufgrund der Interpretation von relativer Wichtigkeit von Kriteriengewichten zu Verständnisproblemen kommen kann. Insgesamt schlussfolgern Belton & Stewart (2002, S. 160) jedoch: „We feel that the popularity of these methods derives from their

transparency, the intuitive appeal of their simplicity and their ease of use.“ Die Anforderung nach Verständlichkeit erfüllen die additiven Wertgewichtungsmethoden dennoch insgesamt nur unvollständig.

Der *Implementierungsaufwand* kann sowohl bei MAVT/MAUT Methoden als auch bei AHP sehr gering gehalten werden. In der einfachsten Ausführung müssen lediglich die Kriterien und Kriteriengewichte bestimmt werden, nach denen im Anschluss alle Alternativen bezüglich ihres Nutzens oder der komparativen Vorteilhaftigkeit bewertet werden. Bei der AHP-Methode steigt jedoch die Anzahl der vorzunehmenden paarweisen Vergleiche exponentiell mit der Anzahl der Alternativen. Zur Fundierung der Einschätzungen können zudem konkrete Kennzahlen hinzugenommen werden, deren Berechnung oder Beschaffung einen erheblichen Zusatzaufwand bewirken könnte. Weiteren optionalen Aufwand kann die Planung und Durchführung eines Stakeholder-Beteiligungsprozesses darstellen. Insgesamt kann der Implementierungsaufwand von additiven Wertgewichtungsmethoden also von sehr gering bis hoch ausfallen, damit lässt sich keine eindeutige Beurteilung dieser Anforderung aufstellen.

Während MAUT und MAVT eher entscheidungstheoretische Modelle darstellen, wurde AHP von Saaty (1977) von Beginn an eingesetzt, um verschiedene Stakeholder in den Entscheidungsprozess miteinzubeziehen und interagieren zu lassen. Eine klare methodische Umsetzung dieser Stakeholder-Partizipation ist zwar nicht gegeben, aber die Kommunikationsfähigkeit von AHP ist hoch, da paarweise Vergleiche eine gute Diskussionsgrundlage bieten und dem menschlichen Entscheiden näher kommen. Die Anwendung multikriterieller Entscheidungsmethoden wird von Belton & Stewart (2002, S. 160) mit einem Lernprozess verglichen, denn Entscheiden wird geholfen, das Problem und den organisatorischen Kontext zu verstehen, ihre eigenen Werte und Prioritäten zu erkunden und die Perspektiven anderer Stakeholder wertzuschätzen. Auch bei der MAUT/MAVT Methoden können zusätzliche Informationen von Stakeholdern zu Präferenzen und sozialen Kosten oder Nutzen erfasst werden. Die Flexibilität der Methoden bei der Wahl der Entscheidungskriterien und bei der Bestimmung der Kriteriengewichte erleichtert dabei die Beteiligung von Stakeholdern am Entscheidungsprozess. Dies gilt sowohl für das administrative als auch für das politische Entscheidungsfeld. Insgesamt ist die *Partizipationsfähigkeit* von additiven Wertgewichtungsmethoden hoch.

18.1.6.2. Outranking-Methoden

Outranking-Methoden arbeiten auch mit paarweisen Vergleichen, welche allerdings nicht bei der Eingabe der Daten vom Nutzer abgefragt werden, sondern Teil des Algorithmus sind. Dabei wird versucht, dominierende Alternativen zu finden. Zwei Outranking-Methoden sollen in diesem Abschnitt vorgestellt werden: ELECTRE und PROMETHEE.

18.1.6.2.1. ELECTRE Benayoun et al. (1966) und Roy (1968) führten als erste das Outranking-Konzept mit der ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité oder ELimination and Choice Expressing the REality) Methode ein.

Die erste Version *ELECTRE I* von Roy (1968) wurde konzipiert, um die Auswahl einer optimalen Alternative oder einer optimalen Kern-Menge an Alternativen zu berechnen.²² Dabei werden Bewertungen von Kriterien mit identischen kardinalen Skalen verwendet. Aus diesen Bewertungen werden zwei Indizes berechnet, die die Beziehung zwischen zwei Alternativen messen. Der Concordance Index („Übereinstimmungsindex“) $C(a,b)$ misst inwiefern a mindestens so gut ist wie b und wird wie folgt berechnet:

$$C(a,b) = \frac{\sum_{\{c: g_c(a) \geq g_c(b)\}} w_c}{\sum_{c=1}^k w_c}$$

wobei w_c wiederum die Gewichte der $c = 1, 2, \dots, k$ Kriterien bezeichnet und $\{c : g_c(a) \geq g_c(b)\}$ die Menge der Kriterien bezeichnet, in denen Alternative a mindestens so gut wie Alternative b bewertet wurde.

Der Discordance Index („Uneinigkeitsindex“) $D(a,b)$ misst inwiefern b strikt besser ist als a und lässt sich wie folgt berechnen:

$$D(a,b) = \frac{\max_{\{c: g_c(a) < g_c(b)\}} \{w_c(g_c(b) - g_c(a))\}}{\max_{i,j \in A} \{w_c(g_c(i) - g_c(j))\}}$$

wobei $\{c : g_c(a) < g_c(b)\}$ die Menge der Kriterien bezeichnet, in denen Alternative b Alternative a strikt vorgezogen wird. A bezeichnet das komplette Set der Kriterien. $g_c(i)$ bezeichnet die Bewertung von Alternative i nach Kriterium c auf einer numerischen Skala. Für beide Indizes gilt $C(a,b) \wedge D(a,b) \in [0, 1]$.

Der Concordance Index misst die Stärke der Unterstützung der Hypothese, dass a besser ist als b . Ein Wert von 1 bedeutet, dass Alternative a bei allen Kriterien ebenso gut oder besser ist als Alternative b , diese also dominiert oder äquivalent ist. Der Discordance Index misst die Stärke des Widerspruches gegen diese Hypothese.

Um die Aussage treffen zu können, dass Alternative a Alternative b übertrifft (im Engl. „ a outranks b “) wird bei *ELECTRE I* ein gewisses Level C^* an Übereinstimmung aus den Bewertungen beim Concordance Index verlangt, gleichzeitig darf die Uneinigkeit beim Discordance Index ein gewisses Level D^* nicht übersteigen. Dies bedeutet: Wenn $C(a,b) > C^*$ und $D(a,b) < D^*$, dann übertrifft Alternative a Alternative b und wenn $C(b,a) > C^*$ und $D(b,a) < D^*$, dann übertrifft Alternative b Alternative a . Die sich ergebenden Outranking-Beziehungen müssen nicht transitiv sein und können durchaus zirkulär sein. Die möglichen Beziehungen zwischen zwei Alternativen sind in Tabelle 18.3 dargestellt.

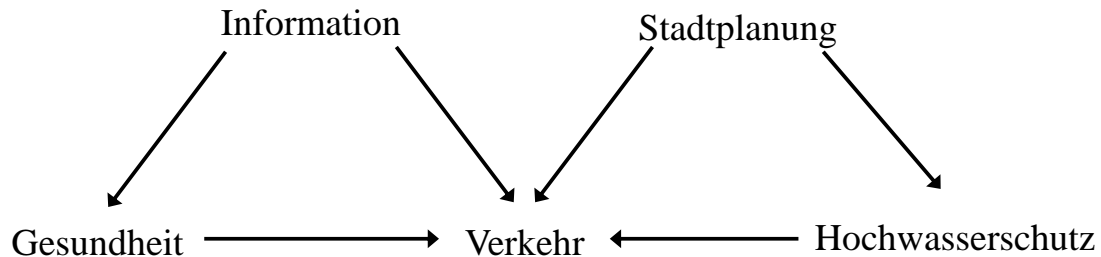
Je höher C^* oder je niedriger D^* desto schwieriger ist es für Alternative a , Alternative b zu übertreffen, und desto mehr Alternativen werden unvergleichbar. Andersherum werden eventuell zu viele Outranking-Beziehungen festgestellt, wenn man diese Grenzwerte zu locker setzt. Es gibt keine klare Vorgabe wie die Grenzwerte zu setzen sind. Laut Belton & Stewart (2002)

²² In der Mathematik bezeichnet der Kern einer Menge die größte Teilmenge, die klein genug ist, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen.

Tabelle 18.3.: Outranking-Beziehungen nach ELECTRE

Beziehung	a übertrifft b	a übertrifft b nicht
b übertrifft a	Indifferenz ($a \sim b$)	b übertrifft a ($b > a$)
b übertrifft a nicht	a übertrifft b ($a > b$)	Unvergleichbarkeit (aRb)

Abbildung 18.9.: Beispiel für Outranking-Beziehungen in ELECTRE I



muss durch ausprobieren herausgefunden werden, welche Grenzwerte ein informatives und nützliches Ergebnis liefern.²³ C^* wird dabei meistens im Bereich $[0,5; 1 - \min_{c \in A} \{w_c\}]$ gewählt (Figueira, 2005).

Die mit ELECTRE I aufgestellten Outranking-Beziehungen können schließlich genutzt werden, um eine Kern-Menge von Alternativen aufzustellen, welche folgende Bedingungen erfüllt (Belton & Stewart, 2002, S. 239):

- Jede Alternative, die nicht in der Menge ist, wird von mindestens einer Alternative in der Menge übertroffen
- Alle Alternativen in der Menge sind unvergleichbar

Diese Menge stellt die optimale Lösung des Problems dar. In Tabelle 18.4 wird das Vorgehen bei einer Bewertung mittels ELECTRE I exemplarisch dargestellt. In Tabelle 18.4a werden die Alternativen auf einer qualitativen Skala von 1 bis 5 bewertet, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Bewertung ist. Die Kriteriengewichtungen wurden aus dem AHP Beispiel übernommen. Die Tabellen 18.4b und 18.4c zeigen die sich ergebenden Concordance- und Discordance-Indizes. Die für die Grenzwerte $C^* > 0,8$ und $D^* < 0,2$ markierten Outranking-Beziehungen sind schließlich in Abbildung 18.9 grafisch dargestellt. Die optimale Kern-Menge in diesem Beispiel ist {Information;Stadtplanung}.

Ein wichtiger Nachteil bei ELECTRE I ist das Fehlen einer klaren operationellen und psychologischen Bedeutung der Grenzwerte C^* und D^* (Belton & Stewart, 2002), die eine eindeutige Interpretation bezüglich der Werte und Präferenzen des Entscheiders zulassen. Zudem wird nur eine Kern-Menge, jedoch keine Rangfolge berechnet. Weiter können zirkuläre Beziehungen dazu führen, dass es keine eindeutige oder keine Kern-Menge gibt (Tzeng & Huang, 2011). Zudem

²³ Dabei kann in einer Art Sensitivitätsanalyse auch überprüft werden, welche Alternativen feste Bestandteile der sich ergebenden Kern Menge sind.

Tabelle 18.4.: Beispiel für Verwendung von ELECTRE I

(a) Bewertung der Alternativen

	Kosten	Nutzen	Fairness	Robustheit
Information	5	2	3	4
Hochwasserschutz	1	4	1	2
Stadtplanung	2	4	2	1
Gesundheit	3	2	3	3
Verkehr	2	1	2	2
Gewichte	0,37	0,37	0,08	0,18

(b) Concordance-Index

$C(a, b)$	Info.	Hochw.	Stadtpl.	Gesundheit	Verkehr
Information	1	0,63	0,63	1*	1*
Hochwasserschutz	0,37	1	0,55	0,37	0,55
Stadtplanung	0,37	0,82*	1	0,37	0,82*
Gesundheit	0,45	0,63	0,63	1	1*
Verkehr	0	0,63	0,63	0	1

(c) Discordance-Index

$D(a, b)$	Info.	Hochw.	Stadtpl.	Gesundheit	Verkehr
Information	0	0,5	0,5	0*	0*
Hochwasserschutz	1	0	0,25	0,5	0,25
Stadtplanung	0,75	0,12*	0	0,25	0,12*
Gesundheit	0,5	0,5	0,5	0	0*
Verkehr	0,75	0,75	0,75	0,25	0

ist die Voraussetzung von identischen kardinalen Skalen bei der Bewertung sehr einschränkend. Diese Nachteile wurden allerdings nach und nach in den Weiterentwicklungen von ELECTRE behoben, die im Folgenden kurz zusammen gefasst werden.

Erweiterungen Bei *ELECTRE Iv* wurde der Discordance-Index durch eine Veto-Bedingung ersetzt:

$$g_c(a) + v_c(g_c(a)) \geq g_c(b) \quad \forall c \in A$$

wobei v_c die kriterienabhängige Veto-Schranke bezeichnet. Eine der Outranking-Beziehung widersprechende Abweichung darf diese Schranke nicht übersteigen. Dadurch wurde mit einfachen Mitteln ermöglicht, verschiedenartig skalierte Kriterien zu verwenden.

ELECTRE IS wurde von Roy & Skalka (1987) entwickelt, um mit Hilfe von Pseudo-Kriterien, auch Entscheidungen mit unvollständigen Informationen treffen zu können.

Da alle ELECTRE I Versionen mit der Kernel Lösung lediglich Auswahlprobleme bedienen, wurde von Roy & Bertier (1973) *ELECTRE II* entwickelt, mit welchem man ein Ranking der Alternativen aufstellen kann. Das Vorgehen ist das gleiche wie bei ELECTRE I, jedoch werden zwei Outranking-Beziehungen mit je einem Concordance-Index und Discordance-Index berechnet. Zudem wurde der Zirkularität dieser Beziehungen mit der Einführung folgender Outranking-Bedingung vorgebeugt:

$$C(a, b) \geq C(b, a)$$

Belton & Stewart (2002) nennt folgende Schritte bei der Aufstellung der beiden Rankings. Zunächst die absteigende Rangfolge, beginnend mit den besten Alternativen:

1. Festsetzen der Concordance und Discordance Grenzwerte, C^*, D^* für die „starken“ Outranking-Beziehungen und C^-, D^- für die „schwachen“ Outranking-Beziehungen, so dass $C^* < C^-$ und $D^* > D^-$.
2. Bestimmung der Menge der Alternativen $F \subset A$, welche von keiner anderen Alternative stark übertroffen werden.
3. Bestimmung einer Untermenge F' von F mit Alternativen, die von keiner Alternative in F schwach übertroffen werden (erste Klasse der absteigenden Rangfolge).
4. Löschung der Alternativen in F' aus A und Wiederholung von Schritt 2 bis alle Alternativen klassifiziert wurden. Dies ergibt die absteigende Rangfolge.

Dann beginnend mit den schlechtesten Alternativen, für die aufsteigende Reihenfolge:

1. Bestimmung der Menge der Alternativen $G \subset A$, welche keine andere Alternative stark übertreffen.

2. Bestimmung einer Untermenge G' von G mit Alternativen, die keine Alternative in G schwach übertreffen (erste Klasse der aufsteigenden Rangfolge).
3. Löschung der Alternativen in G' aus A und Wiederholung von Schritt 1 bis alle Alternativen klassifiziert wurden. Dies ergibt die aufsteigende Rangfolge.

Dabei kann eine Position in beiden Rangfolgen auch mehrere Alternativen beinhalten. Die Schnittmenge beider Rangfolgen kann als Ergebnis verwendet werden.

Mit *ELECTRE III* von Roy (1977, 1978) lässt sich unter Verwendung von Pseudo-Kriterien und fuzzy-binären Outranking-Beziehungen ein Ranking berechnen, welches Ungenauigkeit und Unsicherheit bei den vorhandenen Informationen und Einschätzungen erlaubt. Eine einfacher darzustellende und dennoch ähnliche Methode wird mit PROMETHEE im nächsten Abschnitt vorgestellt.

ELECTRE IV von Roy & Bouyssou (1983) kommt ohne Gewichtung der Kriterien aus und verwendet ein integriertes Outranking-Beziehungs-System.

Weitere Versionen wie *ELECTRE A* und *ELECTRE TRI* wurden zudem zur geordneten Kategorisierung von Alternativen entwickelt.

18.1.6.2.2. PROMETHEE Eine weitere Outranking-Methode, die sich durch ihre Anwenderfreundlichkeit auszeichnet, wurde unter dem Namen PROMETHEE von Brans et al. (1984) entwickelt.²⁴ Sie bereichert die Dominanzbeziehungen der Alternativen um zusätzliche Informationen, zwischen den Kriterien und innerhalb jedes Kriteriums, sodass die Anzahl an Unvergleichbarkeiten verringert wird. Dabei müssen nur wenige zusätzliche Parameter angegeben werden, die allesamt psychologisch oder physisch interpretierbar sind.

Zwischen den Kriterien werden, wie bei den meisten multikriteriellen Methoden, Gewichtungen bestimmt. Diese können zum Beispiel mittels paarweisem Vergleich und Eigenwertmethode wie bei AHP ermittelt werden (siehe Abschnitt 18.1.6.1).

Zudem wird jedes Kriterium mit einer Präferenzfunktion „generalisiert“. PROMETHEE basiert ebenso wie AHP und ELECTRE auf paarweisen Vergleichen. Bei PROMETHEE bestimmt jedoch eine Präferenzfunktion, wie stark der Unterschied zwischen den Bewertungen zweier Alternativen bezüglich eines Kriteriums die Präferenzrelation beeinflusst. Brans et al. (1984) gehen davon aus, dass kleine Unterschiede in der Bewertung nur eine schwache oder gar keine Präferenz für den Entscheider bedeuten. Große Unterschiede hingegen bedeuten eine starke Präferenz. Diese Präferenzen werden bei PROMETHEE mit einer zwischen Null und Eins beschränkten Funktion modelliert:

$$P_c(a, b) = f_c(d_c(a, b)) \quad \forall a, b \in A$$

²⁴ Die Darstellung der PROMETHEE-Methode in diesem Abschnitt basiert jedoch weitgehend auf den Ausführungen von Brans & Mareschal (2005).

$$d_c(a, b) = g_c(a) - g_c(b)$$

$$0 \leq P_c(a, b) \leq 1$$

$$P_c(a, b) > 0 \Rightarrow P_c(b, a) = 0.$$

Soll ein Kriterium maximiert werden, dann gibt diese Funktion die Präferenz des Entscheiders für Alternative a gegenüber Alternative b in Bezug auf das Kriterium c an.²⁵ Es wird angenommen, jeder Entscheider hat bei seiner Entscheidung für jedes Kriterium eine solche Funktion, die folglich abgefragt werden kann, im Kopf. Ein generalisiertes Kriterium besteht also aus $\{P_c(a, b), g_c\}$ und sollte für jedes Kriterium g_c bestimmt werden. Die in Tabelle 18.5 dargestellten Präferenzfunktionsformen wurden von Brans & Mareschal (2005) vorgeschlagen. Dabei müssen je nach Form nur folgende Parameter festgelegt werden:

- q : Indifferenz-Grenzwert. Der größte Wert von d unterhalb dessen der Entscheider indifferent ist.
- p : Grenzwert für strikte Präferenz. Der kleinste Wert von d oberhalb dessen der Entscheider eine starke Präferenz hat.
- s : Standard-Abweichung für eine Präferenzfunktion in Form einer Gaus'schen Normalverteilung.

Bei der ersten Version von *PROMETHEE I* wird eine partielle Rangfolge der Alternativen berechnet. Dafür wird ein Präferenzindex quer über alle Kriterien berechnet:

$$\pi(a, b) = \sum_{c=1}^k P_c(a, b) w_c$$

welcher ausdrückt in welchem Grad Alternative a vor Alternative b bevorzugt wird.²⁶ Bei $\pi(a, b) \sim 0$ gibt es eine schwache globale Präferenz für Alternative a gegenüber Alternative b , bei $\pi(a, b) \sim 1$ eine starke globale Präferenz.

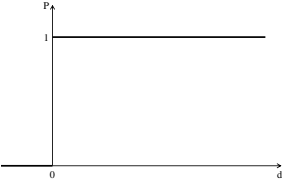
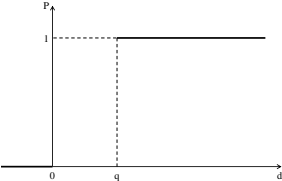
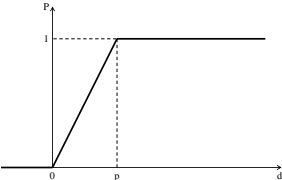
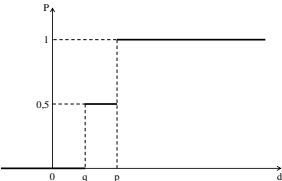
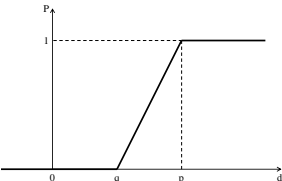
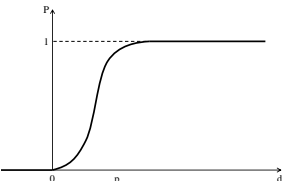
Sind alle Kriterien vom Typ 1, sodass die Präferenzfunktion nur strikt den Wert Eins oder Null annehmen kann, spiegelt $\pi(a, b)$ die Proportion der Kriterien wieder, bei denen Alternative a Alternative b vorgezogen wird und entspricht somit dem Concordance-Index aus ELECTRE I.

Das Konzept der paarweisen Vergleiche wird bei der Berechnung der sogenannten Outranking-Flows verwendet.

²⁵ Bei Kriterien, die minimiert werden sollen, kann die Präferenzfunktion umgekehrt werden: $P_c(a, b) = f_c(-d_c(a, b))$

²⁶ Folgende Eigenschaften gelten für alle $a, b \in A$ $\pi(a, a) = 0$, $0 \leq \pi(a, b) \leq 1$, $0 \leq \pi(b, a) \leq 1$, $0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1$.

Tabelle 18.5.: Typen generalisierter Kriterien bei PROMETHEE

Generalisiertes Kriterium	Darstellung	Definition	Parameter
Typ 1: Gewöhnlich		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	–
Typ 2: U-Form		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
Typ 3: V-Form		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
Typ 4: Level		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Typ 5: V-Form mit Indifferenz		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Typ 6: Gaus'sche Form		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Quelle: Eigene Darstellung nach Brans & Mareschal (2005)

- positiver Outranking-Flow:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b)$$

- negativer Outranking-Flow:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a)$$

Dabei steht jede Alternative a den $n-1$ anderen Alternativen aus A gegenüber. Je höher $\phi^+(a)$ desto mehr Alternativen übertrifft Alternative a und je niedriger $\phi^-(a)$ von desto weniger Alternativen wird Alternative a übertroffen. Die partielle Rangfolge nach PROMETHEE I wird aus den positiven und negativen Outranking-Flows erstellt, die einzeln üblicherweise zu unterschiedlichen Rangfolgen führen würden. Die partielle Rangfolge kann drei Beziehungsformen beinhalten: Präferenz (P^I), Indifferenz (I^I) und Unvergleichbarkeit (R^I).

$$aP^I b \quad \text{iff} \quad \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases}$$

$$aI^I b \quad \text{iff} \quad \phi^+(a) = \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) = \phi^-(b)$$

$$aR^I b \quad \text{iff} \quad \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) > \phi^-(b) \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \wedge \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{cases}$$

Bei $aP^I b$ sind positiver und negativer Outranking-Flow konsistent und die Outranking-Beziehung kann als eindeutig betrachtet werden. Bei $aR^I b$ hingegen widersprechen sich die Outranking-Flows. Dies kann passieren, wenn Alternative a bei den Kriterien besser abschneidet, in denen Alternative b schwach abschneidet, und umgekehrt. Das PROMETHEE I Ranking ergibt nicht unbedingt eine eindeutig optimale Alternative, sondern überlässt dies dem Entscheider.

Bei *PROMETHEE II* wird hingegen ein komplettes Ranking berechnet, welches nur Präferenz (P^{II}) und Indifferenz (I^{II}) kennt. Dabei wird der Netto-Outranking-Flow berechnet:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Wenn $\phi(a) > 0$, dann übertrifft Alternative a die anderen Alternativen mehr als sie selber übertroffen wird.²⁷

²⁷ Insgesamt gilt $0 \leq \phi(a) \leq 1$ und $\sum_{i=1}^n \phi(a_i) = 0$.

Die Outranking-Beziehungen ergeben sich wie folgt:

$$\begin{aligned} aP^{II}b & \text{ iff } \phi(a) > \phi(b) \\ aI^{II}b & \text{ iff } \phi(a) = \phi(b) \end{aligned}$$

Es gibt bei dieser Methode also keine Unvergleichbarkeiten, jedoch gehen durch die Saldierung der Outranking-Flows Informationen verloren. Der Netto-Outranking-Flow kann mit einer Nutzenfunktion verglichen werden.

Der Vorteil von PROMETHEE ist, dass es auf paarweisen Relationen beruht, ohne diese aufwendigerweise vom Benutzer abzufragen.

Sowohl in PROMETHEE I als auch in PROMETHEE II tritt Indifferenz zwischen zwei Alternativen nur auf, wenn sich die entsprechenden Outranking-Flows exakt aufheben. Kleine Unterschiede, die sich aufgrund des stetigen Verlaufs der generalisierten Kriterien durchaus ergeben können, werden somit nicht als Indifferenz gedeutet. *PROMETHEE III* setzt an dieser Stelle an und verwendet Intervalle $[x_a, y_a]$, die für jede Alternative a wie folgt definiert werden:

$$\begin{aligned} x_a &= \bar{\phi}(a) - \alpha\sigma_a \\ y_a &= \bar{\phi}(a) + \alpha\sigma_a \end{aligned}$$

mit $\alpha > 0$. Wobei

$$\begin{aligned} \bar{\phi}(a) &= \frac{1}{n} \sum_{b \in A} (\pi(a, b) - \pi(b, a)) = \frac{1}{n} \phi(a) \\ \sigma_a^2 &= \frac{1}{n} \sum_{b \in A} (\pi(a, b) - \pi(b, a) - \bar{\phi}(a))^2. \end{aligned}$$

Die Mitte des Intervalls $[x_a, y_a]$ ist der durchschnittliche Netto-Outranking-Flow und die Breite des Intervalls ist proportional zum Standardfehler der Verteilung von $(\pi(a, b) - \pi(b, a))$.

Das komplette Ranking ergibt sich dann aus den Outranking-Beziehungen:

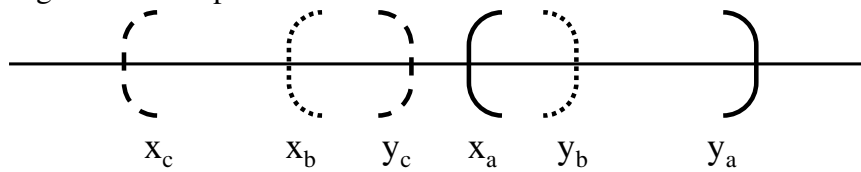
$$\begin{aligned} aP^{III}b & \text{ iff } x_a > y_b \\ aI^{III}b & \text{ iff } x_a \leq y_b \wedge x_b \leq y_a. \end{aligned}$$

Je kleiner α desto mehr strikte Präferenzen gibt es und für $\alpha = 0$ entspricht $P^{III} = P^{II}$ und $I^{III} = I^{II}$.²⁸ Während P^{III} transitiv ist, ist es I^{III} nicht. Zum Beispiel kann gleichzeitig $aI^{III}b$, $bI^{III}c$ und $aP^{III}c$ gelten (siehe Abbildung 18.10). Der Vorteil von PROMETHEE III ist also, dass es intransitive Indifferenz erlaubt.

Nimmt man wieder das vorige Bewertungsbeispiel aus Tabelle 18.4a, dann ergeben sich für die PROMETHEE-Methode (mit V-Form Kriterien von Typ 3 und $p = 3$) Outranking-Flows in

²⁸ Tzeng & Huang (2011) gibt an, dass α üblicherweise niedriger als der durchschnittliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden mittleren Outranking-Flows gewählt wird, sodass nicht zu viele Indifferenzen entstehen, was einem Wert von ungefähr $\alpha = 0,15$ entspricht.

Abbildung 18.10.: Beispiel für Intransitivität der Indifferenz bei PROMETHEE III



Beziehung von Alternativen a, b, c mit $aI^{III}b$, $bI^{III}c$ und $aP^{III}c$

Quelle: Eigene Darstellung nach Tzeng & Huang (2011).

Tabelle 18.6.: Outranking-Flows nach PROMETHEE

Alternativen	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	$\phi(a)$
Information	0,52	0,12	0,39
Hochwasserschutz	0,23	0,30	-0,07
Stadtplanung	0,25	0,24	0,01
Gesundheit	0,24	0,20	0,04
Verkehr	0,05	0,43	-0,38

Tabelle 18.6. Abbildung 18.12a zeigt die entsprechenden Outranking-Beziehungen nach PROMETHEE I und Abbildung 18.12b zeigt die komplette Rangfolge nach PROMETHEE II. Im Vergleich zu ELECTRE hat also besonders die Alternative der Informationsbereitstellung an Präferenz hinzugewonnen, während die Alternative Verkehrsanpassung noch mehr von den anderen Alternativen übertroffen wird.

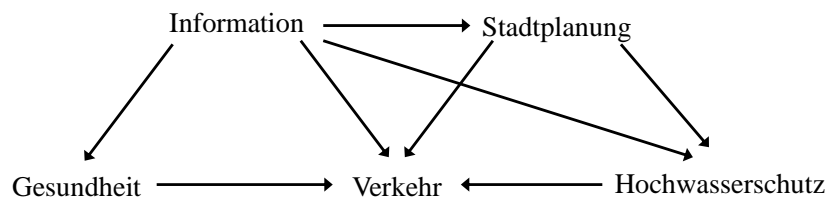
PROMETHEE IV ist eine Erweiterung von PROMETHEE II und erlaubt die Bewertung von stetigen Handlungsalternativen, die zum Beispiel in Prozent skaliert werden.

18.1.6.2.3. Erwarteter Erfüllungsgrad der Anforderungen

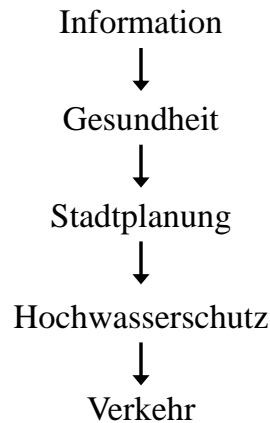
Allgemeine Anforderungen Wie additive Wertgewichtungsmethoden sind Outranking-Methoden nur eingeschränkt zur ökonomischen Rationalisierung des Entscheidungsprozesses dienlich. Es kann zu hyperbolischer Diskontierung und zeitlicher Inkonsistenz kommen, da weder eine zeitliche Struktur noch Diskontierungsrate abgefragt wird. Zudem werden in den einzelnen Bewertungen relativ viele Informationen konsolidiert, was kognitive Verzerrungen bei der Benutzung begünstigt. Je nach Gestaltung der Frage zur Kriterienbewertung kann es zu Framing-Effekten kommen, die die Bewertung irrational beeinflussen. Bewertungen von Nutzenkriterien können von Gewinnoptimismus betroffen sein. Bei Schätzungen zu quantitativen Kriterien können irrelevante Zahlen bei der Abfrage aufgrund von kognitiven Ankerheuristiken verzerrend wirken. Ebenso können subjektive Erinnerungen aufgrund von Verfügbarkeitsheuristiken die Bewertungen verzerren. Insgesamt ist die *rationalisierende Wirkung* von Outranking-Methoden also relativ gering.

MCDA kombinieren generell technische Informationen von Experten, soziale Präferenzen der Stakeholder, Meinungen der Profitierenden als auch der Kostenträger. Dies bewegt Gam-

Abbildung 18.11.: Beispiel für PROMETHEE-Methode



(a) Partielle Rangfolge nach PROMETHEE I



(b) Komplette Rangfolge nach PROMETHEE II

per & Turcanu (2007) zu dem Schluss, dass MCDA deswegen besonders gut zur Bewertung und Überprüfung (Monitoring) bestehender Politik genutzt werden können. Sowohl mit den ELECTRE-Methoden als auch mit PROMETHEE können eindeutige Kennzahlen oder Rangfolgen berechnet werden, die sich theoretisch zum *Monitoring* eignen. Je nach Ausgestaltung sind Outranking-Methoden jedoch für Verzerrung durch Einflussnahme von privaten Interessen der ausführenden Entscheider, Analysten und beteiligten Stakeholder anfällig. Es besteht kein Zwang, die Kriterien objektiv zu bewerten, sondern es können auch subjektive Einschätzungen abgefragt werden. Sollen Outranking-Methoden somit zum Monitoring staatlicher Anpassung verwendet werden, muss auf die Objektivität der Eingaben geachtet werden (z.B. durch Bewertungen unabhängiger Dritter wie Forschungsinstituten) oder es müssen genug Stakeholder am Entscheidungsprozess beteiligt werden, sodass die Entscheidung nicht zu Gunsten einer Interessensgruppe ausfällt. Zu beachten gilt dabei, dass die dann ausgewählte Kombination aus Kriterien und Gewichtungen keinem theoretisch fundierten ökonomischen Optimum entspricht, sondern einer Konsens-Entscheidung der beteiligten Akteure. Zum Monitoring staatlicher Klimaanpassung eignen sich Outranking-Methoden somit nur mit Einschränkungen.

Alle Outranking-Methoden lassen eine indirekte Berücksichtigung von Risiko als ein Entscheidungskriterium zu. Bei den ELECTRE-Methoden wurde zudem ELECTRE III dazu entwickelt, Ungenauigkeit und Unsicherheit bei der Eingabe der Informationen zu berücksichtigen.

PROMETHEE hingegen bietet in allen Varianten mit den generalisierten Kriterien die Möglichkeit, Ungenauigkeit und Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung zu modellieren. Zudem wurde PROMETHEE III dazu entwickelt, um auch Intervalle bei den Bewertungen eingeben zu können. Dahingehend eignet sich diese Methode besonders für Situationen mit tiefer Unsicherheit oder Ungewissheit ohne Vorhandensein von Eintrittswahrscheinlichkeiten im Bereich der Klimawandelanpassung. Insgesamt ist die Anwendbarkeit bei Unsicherheit von Outranking-Methoden als hoch einzuschätzen.

Die *Priorisierung* der Anpassungsalternativen ist ab ELECTRE II und PROMETHEE II mittels einer Rangfolge möglich. Im Gegensatz zu optimaler Kern-Menge bei ELECTRE I und partieller Reihenfolge bei PROMETHEE I gehen zwar Informationen verloren, dennoch eignen sich diese weiterentwickelten Varianten gut, um Alternativen zu priorisieren. Obwohl eine solche Rangfolge nicht zwingend auf ökonomischen Kriterien basiert, kann sie dafür genutzt werden, politische Anpassungsinstrumente zu priorisieren oder die administrative Umsetzungsreihenfolge von Anpassungsmaßnahmen bei einem beschränkten Budget zu bestimmen. ELECTRE I und PROMETHEE I können mit der Berechnung der optimalen Kern-Menge zur Lösung der Auswahlproblematik verwendet werden, bei der einzelne optimale politische Instrumente und Anpassungsmaßnahmen oder eine optimale Menge bestimmt werden. Zur Lösung der restlichen Entscheidungsproblematiken muss auf spezielle Erweiterungen der hier vorgestellten Outranking-Methoden zurückgegriffen werden. Sortierungsproblematiken können mit erweiterten Outranking-Methoden wie ELECTRE TRI und PROMETHEE TRI gelöst werden.²⁹ Dabei können Anpassungsmaßnahmen in beliebige Kategorien wie zum Beispiel „Umzusetzende Maßnahmen“, „Nicht empfehlenswerte Maßnahmen“ und „Maßnahmen mit weiterem Forschungsbedarf“ einsortiert werden. Zur Lösung der Portfolioproblematik stellen Vetschera & De Almeida (2012) einen PROMETHEE basierten Ansatz vor. Insgesamt eignen sich Outranking-Methoden also für die Lösung aller für die staatliche Anpassung relevanter Entscheidungsproblematiken. Bei der Sortierungsproblematik und Portfolioproblematik muss jedoch auf Erweiterungen zurückgegriffen werden, die über die grundsätzlichen Ansätze hinausgehen.

Die *prozedurale Fairness* bei Outranking-Methoden ist vergleichbar mit der von additiven Wertgewichtungsmethoden. Ebenso wie bei additiven Wertgewichtungsmethoden kann es bei der Bewertung der Kriterien durch Verwendung verschiedener Bewertungsmethoden zu Inkonsistenzen kommen. Die freie Kriterienwahl und Skalierung, kombiniert mit der besonders im Anpassungsbereich hohen Komplexität der zu bewertenden Aspekte (siehe Kapitel 16), bieten genügend Möglichkeiten für potentielle Inkonsistenzen, die methodisch nicht ausgeschlossen werden können. Somit kann die wahrgenommene *Konsistenz* der Outranking-Methoden durchaus gering ausfallen. Ebenfalls wie bei additiven Wertgewichtungsmethoden können die Eingaben bei den Outranking-Methoden auf subjektiven Einschätzungen beruhen und damit *voreingenommen* wirken. Die Bestimmung der Gewichte basiert sogar explizit auf subjektiven

²⁹ Siehe Figueira et al. (2005) und Figueira et al. (2004) für die Beschreibung der Funktionsweise dieser Methoden.

Präferenzen. Die Korrigierbarkeit ist insgesamt hoch, da einzelne Bewertungen, Skalierungen und Funktionsformen generalisierter Kriterien ohne umfangreiche Anpassungen ausgetauscht werden können. Damit ist die *Korrigierbarkeit* sogar geringfügig höher als bei den additiven Wertgewichtungsmethoden, da anders als bei der AHP-Methode bei Änderung einzelner Bewertungen nicht alle paarweisen Vergleiche mit dieser Alternative geändert werden müssen. Die *Genauigkeit* der Outranking-Methoden entspricht der von MAUT/MAVT Methoden. Theoretisch können viele detaillierte Kriterien gewählt werden, die alle relevanten Informationen erfassen und die Entscheidung genau machen. Innerhalb der Kriterien muss jedoch eine einheitliche Operationalisierung der bewerteten Aspekte für alle bewerteten Alternativen gelten (z.B. in Währung oder ordinaler Skalierung). Im politischen Entscheidungsfeld sind die Effekte der verschiedenen politischen Instrumente jedoch so unterschiedlich, dass zur Gewährleistung von Vergleichbarkeit der Alternativen innerhalb der Kriterien auf eine möglichst allgemeine Operationalisierung zurückgegriffen werden muss, sodass die Bewertung doch ungenau ausfällt. Im administrativen Entscheidungsfeld sind hingegen Anwendungen denkbar, bei denen die Alternativen aufgrund ihrer thematischen Verwandtschaft ähnlich genug sind, um mit einheitlicher und dennoch detaillierter Operationalisierung bewertet zu werden. Somit ist die wahrgenommene Genauigkeit von Outranking-Methoden im administrativem Entscheidungsfeld tendenziell höher als im politischen Entscheidungsfeld. Auch die *Repräsentativität* von Outranking-Methoden ist im administrativen Entscheidungsfeld tendenziell höher als im politischen Entscheidungsfeld. Zwar können die Effekte der Anpassungsmaßnahmen auf alle Stakeholder über verschiedene Kriterien bei der Entscheidungsfindung mittels Outranking-Methoden erfasst werden. Bei der Vielfältigkeit der Wirkung politischer Instrumente ist eine solch repräsentative Anwendung jedoch schwer vorstellbar. Im administrativen Kontext ist aufgrund der begrenzten Stakeholderanzahl eine repräsentative Wirkung von Outranking-Methoden hingegen möglich. Insgesamt erfüllen Outranking-Methoden somit bei einer Anwendung im administrativen Entscheidungsfeld drei von fünf Anforderungen prozeduraler Fairness, während sie im politischen Entscheidungsfeld nur eine Anforderung erfüllen.

Die *interaktionale Fairness* entspricht ungefähr der von MAVT und MAUT Methoden. Basieren die Bewertungen der Entscheidungskriterien auf komplizierten quantitativen Berechnungen, dann ist Informationsbereitstellung an die Stakeholder schwierig. Outranking-Methoden bieten jedoch gleichzeitig die Möglichkeit, einfache qualitative Kriterien in die Entscheidungsfindung miteinzubeziehen, bei denen die Informationsbereitstellung einfach ausfällt. Die Gewichtungen der Kriterien sind frei wählbar und die Bestimmung der Gewichte kann zum Beispiel nach den in Kapitel 18.1.6.1.1 beschriebenen Methoden vorgenommen werden, welche leicht nachzuvollziehen sind. Je mehr Kriterien bei der Outranking-Methode verwendet werden, desto schwieriger wird es, die bestehenden Erwartungen an das Entscheidungsergebnis kohärent an die Stakeholder zu vermitteln. Die vier grundlegenden Kriterien aus Kapitel 16 sollten jedoch dank der freien Ausgestaltung der Entscheidungskriterien bei den Outranking-Methoden relativ einfach zu vermitteln sein. Insgesamt ist die interaktionale Fairness der Outranking-Methoden hoch.

Auch bei Outranking-Methoden bietet die Literatur Ansätze zur Überprüfung der *Robustheit der Entscheidung* mittels Sensitivitätsanalysen (Wolters & Mareschal, 1995; Figueira et al., 2005). Da diese jedoch nicht explizit Teil der Methode sind, sondern zusätzlich vorgenommen werden müssen, erfüllen Outranking-Methoden diese Anforderungen nur teilweise.

Politikbetonte Anforderungen Während wert- oder nutzenbasierte MCDA-Methoden relativ restriktive Annahmen haben, können Outranking-Methoden besser erfassen, wie Entscheider tatsächlich denken. Konzeptionelle Möglichkeiten wie Unvergleichbarkeit und abgestufte Bevorzugung (z. B. schwache oder strikte Präferenz) machen den Entscheidungsprozess realistischer. Mit dem Abfragen zusätzlicher Informationen, wie zum Beispiel der Form generalisierter Kriterien, können die Präferenzen besser und natürlicher erfasst werden. Da beliebige Skalen bei den Kriterien verwendet werden können, lassen sich neben quantitativen Informationen auch intangible Informationen mit qualitativ skalierten Kriterien erfassen. Schwer zu operationalisierende Kriterien wie distributive Gerechtigkeit und Robustheit lassen sich mittels solcher Kriterien erfassen. Somit eignen sich Outranking-Methoden insgesamt gut, um die verschiedenartigen Informationen zu erfassen, die bei der staatlichen Klimaanpassung relevant sind. Die Anforderung nach *informationeller Kompatibilität* wird von Outranking-Methoden somit erfüllt.

Belton & Stewart (2002) kritisieren, dass viele nötigen ELECTRE Eingaben wie Concordance, Discordance, Indifferenz-, Präferenz- und Veto-Grenzwerte nicht intuitiv sind und keine physische oder psychologische Interpretation haben. Selbes gilt für die Wahl der Präferenzfunktion bei PROMETHEE. Diese Eingaben müssen zwar zwangsweise bei der Benutzung von Outranking-Methoden gemacht werden, beruhen jedoch lediglich auf der Einschätzung der Anwender. Im Gegensatz zu anderen Eingaben wie monetären Bewertungen oder Wahrscheinlichkeiten können diese Einstellungsparameter frei gewählt werden. Somit schränkt dies die informationelle Flexibilität der Methoden nicht ein. Bei Nichtvorhandensein von quantitativen Informationen können entsprechende Kriterien aus der Outranking-Bewertung herausgenommen werden. Insgesamt ist die *informationelle Flexibilität* bei Outranking-Methoden hoch, da die zu bewertenden Kriterien an die Verfügbarkeit der Informationen angepasst werden können.

Nach Gamper & Turcanu (2007) liegt der Vorteil von MCDA bei der öffentlichen Entscheidungsfindung in der Fähigkeit, Präferenzen direkter und praktischer offenzulegen als andere Entscheidungsunterstützungsmethoden. Dies gilt insbesondere für Outranking-Methoden. Der Lernprozess findet vor allem in dem ersten Schritt der Problemstrukturierung statt. Mit einem besseren Verständnis der Präferenzen der Stakeholder oder der Bevölkerung und damit potentieller Wähler steigt für die regierenden Entscheider auch der Anreiz, diese Methoden zu verwenden. Zudem ist das Outranking-Ergebnis „optimal“ und liefert somit ein Argument für politische Verhandlungen. Gleichzeitig bietet die freie Auswahl, Skalierung und Gewichtung der Kriterien genügend diskretionäre Spielräume. Dabei lässt die Strukturierung des Entscheidungsprozesses das Ergebnis objektiv erscheinen, auch wenn es gegebenenfalls auf subjektiven Einschätzungen

beruht. Damit erfüllen Outranking-Methoden die Anforderung nach *Interessenbedienung auf politischen Märkten* relativ gut.

Praxisbetonte Anforderungen Belton & Stewart (2002) weisen darauf hin, dass der Einfluss verschiedener Eingaben (Concordance, Discordance, Veto-Grenzwerte, Präferenzfunktion) schwer intuitiv abzuschätzen ist und die Algorithmen an sich schwer für die Entscheider zu verstehen sind. Somit können besonders bei ELECTRE die Ergebnisse kontraintuitiv erscheinen: Durch Änderung der Grenzwerte oder die Hinzu- oder Wegnahme von Alternativen können unerwartete Änderungen in den Rangfolgen auftreten. Die benötigten Parametrisierungen bei PROMETHEE sind zwar leichter verständlich, aber insgesamt ist die Funktionsweise beider Methoden schwerer zu erklären, als es zum Beispiel bei der KNA der Fall ist. Insgesamt ist die *Verständlichkeit* also niedrig.

Wie bei den multikriteriellen Nutzen- und Wertmethoden kann der *Implementierungsaufwand* bei Outranking-Methoden sehr gering gehalten werden, wenn vorwiegend qualitative Einschätzungen verwendet werden und der Stakeholder-Beteiligungsprozess einfach gehalten wird. Je mehr Kriterien aber auf quantitativen Berechnungen beruhen und je komplizierter diese ausfallen desto höher ist auch der Implementierungsaufwand. Der Implementierungsaufwand von Outranking-Methoden kann folglich von niedrig bis hoch ausfallen und ist deswegen als mittelmäßig zu bewerten.

Outranking-Methoden werden häufig mit Stakeholder-Partizipation durchgeführt und zeichnen sich durch eine hohe Kommunikationsfähigkeit aus. Dennoch ist die Verwendungsweise in der wissenschaftlichen Literatur nicht unumstritten. Aufgrund der Komplexität und kontraintuitiven Ergebnissen raten zum Beispiel Belton & Stewart (2002) davon ab, Outranking-Methoden im Workshop-Modus zu benutzen. Stattdessen schlagen sie vor, Analysten „Hinterraum“-Analysen durchführen zu lassen, bei denen mit verschiedenen Eingaben experimentiert wird, um ein besseres Verständnis für verschiedene Alternativen zu erlangen. Viele Unvergleichbarkeiten bedürfen nämlich detaillierterer Präferenzinformationen oder einer Suche nach zusätzlichen Handlungsalternativen. Die Ergebnisse können dann in einem klar dokumentierten Bericht den Entscheidern als Entscheidungshilfe dienen. Stakeholderprozesse sind teuer und langwierig, deswegen ist die Frage zu klären, welche Stakeholder zu welchem Zeitpunkt des Entscheidungsprozesses einzubinden sind. Hierüber gibt keine der Methoden Auskunft. Laut Beierle (2002) strukturieren und erleichtern MCDA jedoch allgemein die Stakeholderbeteiligung in Entscheidungsprozessen, was die Qualität der Entscheidungen erhöht. Nach Meinung von Bouyssou (2000) und Gamper & Turcanu (2007) sind, unabhängig von der Übereinstimmung des MCDA Ergebnisses mit der endgültigen Entscheidung, die Analyse an sich, die aufgebrachten Fragen und die Argumentation nützlich, da Präferenzen offenbart werden und vom endgültigen Entscheider berücksichtigt werden können. Die heuristische Verwendung gewährleistet einen expliziten, offenen, systematischen und pluralistischen Entscheidungsprozess (Stirling & Mayer, 2001; Gamper & Turcanu, 2007). Unabhängig von der Verwendungsweise

von Outranking-Methoden ist die *Partizipationsfähigkeit* bei dieser Methode im Vergleich zu den anderen Entscheidungsmethoden hoch. Dabei stellen die flexible Kriterienwahl sowie die Gewichtungsbestimmung einen besonderen Vorteil dar.

18.2. Vergleichende Analyse

18.2.1. Allgemeiner Vergleich

In Tabelle 18.7 sind die Ergebnisse der Bewertungen aus Abschnitt 18.1 zusammengefasst. Sieben Entscheidungsmethoden wurden nach insgesamt vierzehn Anforderungen bewertet. Die Bewertungen beziehen sich auf die Erfüllung der Anforderungsmerkmale in Tabelle 17.1. Anforderungen mit mehreren Merkmalen wurden auf einer entsprechend numerischen Skala von 0 bis *Anzahl der Merkmale* bewertet. Die Erfüllung von Anforderungen mit einem Merkmal wurde auf einer Dreischrittskala mit niedrig (–), teilweise (~) und hoch (+) bewertet. Bei Abweichungen zwischen politischem und administrativem Entscheidungsfeld werden beide Bewertungen in der Form *Bewertung für politisches Entscheidungsfeld/Bewertung für administratives Entscheidungsfeld* dargestellt.

Es fällt auf, dass aufgrund der Bewertungen bezüglich der prozeduralen Fairness alle Entscheidungsmethoden für die Anwendung im administrativem Entscheidungsfeld besser abschneiden als für die Anwendung im politischen Entscheidungsfeld. KWA, KNA und PA eignen sich zudem besser zum Monitoring der staatlichen Anpassungsaktivitäten im administrativen Entscheidungsfeld als im politischen Entscheidungsfeld.

Insgesamt gilt: Je strikter die Entscheidungsmethoden formalisiert sind desto größer ist ihre rationalisierende Wirkung. Die flexiblen Methoden wie MCDA und RDM hingegen schneiden insgesamt besser bei den politikbetonten Anforderungen ab, da sie besser verschiedenartige Informationen erfassen können, bei unterschiedlicher Datenlage eingesetzt werden können und diskretionäre Spielräume lassen.

Für einen analytischen Vergleich der Entscheidungsmethoden können die Dominanzrelationen der Bewertungen betrachtet werden. Aus einem allgemeinen Vergleich der Entscheidungsmethoden lässt sich jedoch lediglich schlussfolgern, dass die Kosten-Nutzen Analyse die Portfolio-Analyse schwach dominiert und ihr somit vorzuziehen ist. Bei gesonderter Betrachtung der politikbetonten Anforderungen dominieren die Outranking-Methoden die anderen Entscheidungsmethoden stark, im administrativen Entscheidungsfeld zusammen mit RDM. PA und ROA erfüllen keine der praxisbetonten Anforderungen und werden deshalb dort von den anderen Entscheidungsmethoden stark dominiert.

Aus den Dominanzrelationen alleine können aber kaum konkrete Empfehlungen für die in der Anpassungspolitik zu verwendenden Entscheidungsmethoden hergeleitet werden. Zwar dominieren manche Entscheidungsmethoden bei gesonderter Betrachtung einzelner Anforderungsbündel, aber eine Empfehlung bedarf der Identifizierung einer oder mehrerer bester Entschei-

Tabelle 18.7.: Erfüllung der Anforderungen durch verschiedene Entscheidungsmethoden

Anforderungen	Skala	KWA	KNA	PA	ROA	RDM	MAUT/AHP	Outranking
Allgemeine Anforderungen								
Rationalisierende Wirkung	0-3	3	3	2	3	1	0	0
Eignung zum Monitoring	0-2	1/2	1/2	0/1	0	0	1	1
Anwendbarkeit unter Unsicherheit oder Ungewissheit	- ~ +	~	~	~	~	+	~	+
Eiorisierung	- ~ +	+	+	~	-	~	+	+
Anwendbarkeit bei weiteren Entscheidungsproblematiken	0-3	1	2	2	1	2	1	3
Prozedurale Fairness	0-5	0/3	0/2	0/2	0/2	0/2	1/3	1/3
Interaktionale Fairness	0-2	1/2	1/2	1	0	2	2	2
Ergebnisrobustheit	- ~ +	~	~	~	+	+	~	~
Politikbetonte Anforderungen								
Informationelle Kompatibilität	- ~ +	-	-	-	~	~/+	+	+
Informationelle Flexibilität	- ~ +	-	~	-	-	+	+	+
Bedienung politischer Interessen	- ~ +	~	~	~	~	+	+	+
Praxisbetonte Anforderungen								
Verständlichkeit	- ~ +	+	~	-	-	-	~	-
Implementierungsleichtigkeit	- ~ +	~/+	~	-	-	-	~	~
Partizipationsfähigkeit	- ~ +	-	-	-	-	+	+	+

Zusammenfassende Darstellung der Bewertungen aus Kapitel 18.1. Numerische Bewertungen entsprechen der Anzahl der erfüllten Anforderungsmerkmale aus Tabelle 17.1. Die Erfüllung von Anforderungen mit einem Merkmal werden auf einer Dreischrittsskala bewertet: niedrig (-), teilweise (~) und hoch (+). Doppelte Bewertungen (z.B. „~/+“) zeigen Unterschiede bei der Erfüllung der Anforderung zwischen politischem Entscheidungsfeld und administrativem Entscheidungsfeld auf (Reihenfolge: *politisches Entscheidungsfeld* / *administratives Entscheidungsfeld*).

Tabelle 18.8.: Ergebnisse der vergleichenden PROMETHEE Analyse

Kriteriengewichtung	Politisches Entscheidungsfeld				Administratives Entscheidungsfeld			
	Gleichgewichtung		Politikbetont		Gleichgewichtung		Praxisbetont	
Methode	Rang	$\phi(a)$	Rang	$\phi(a)$	Rang	$\phi(a)$	Rang	$\phi(a)$
KWA	5	-0.05	5	-0.19	4	0.07	3	0.18
KNA	4	-0.01	4	-0.09	5	0.03	5	0.01
PA	6	-0.24	7	-0.32	6	-0.25	6	-0.31
ROA	7	-0.26	6	-0.25	7	-0.3	7	-0.34
RDM	3	0.09	3	0.18	3	0.08	4	0.04
MAUT/AHP	2	0.19	2	0.31	2	0.14	1	0.22
Outranking	1	0.27	1	0.37	1	0.23	2	0.2

Berechnung mit PROMETHEE II Methode nach eigener Programmierung mit Präferenzfunktion in V-Form und $p=2$. Die Auswertung der Bewertungen in Tabelle 18.7 wurde getrennt für politische und administrative Entscheidungsfelder vorgenommen. Gleichgewichtung: Gewichte zu je 1/14. Politikbetont: Politikbetonte Anforderungen zu je 1/6 ($\Sigma = 0,5$), Rest gleichverteilt zu je 1/22. Praxisbetont: Praxisbetonte Anforderungen zu je 1/6 ($\Sigma = 0,5$), Rest gleichverteilt zu je 1/22.

dungsmethoden unter Berücksichtigung aller Anforderungen. Daher werden die Bewertungen im nächsten Kapitel methodisch zu Rangfolgen umgewandelt, die leichter interpretierbar und dennoch analytisch vollständig sind. Mit diesen können die passenden Methoden für die Anpassungspolitik in Abgrenzung zur administrativen Anpassung leichter identifiziert werden.

18.2.2. Vergleich mittels multikriterieller Analyse

Für eine spezifischere Auswertung der Ergebnisse aus Kapitel 18.1 wird die PROMETHEE II Methode (siehe Abschnitt 18.1.6.2.2) verwendet. Die Bewertungen aus Tabelle 18.7 werden als generalisierte Kriterien in V-Form mit Grenzwerten für strikte Präferenz von $p = 2$ verwendet, um die Ungenauigkeit bei der Bewertung zu modellieren. Dabei werden die numerischen Bewertungen direkt verwendet und die qualitativen Bewertungen wie folgt kodiert: niedrig (–) mit 0, teilweise (~) mit 1 und hoch (+) mit 2. Die multikriterielle Analyse wird getrennt für das politische und das administrative Entscheidungsfeld durchgeführt, da sich die Bewertungen teilweise unterscheiden. Zudem werden verschiedene Szenarien untersucht, die mit unterschiedlichen Gewichtungen modelliert werden. Bei der Analyse beider Entscheidungsfelder wird das Szenario mit gleichgewichteten Anforderungen berechnet. Zusätzlich wird jeweils ein Szenario berechnet, in dem die besonders relevanten Anforderungen stärker gewichtet werden. Für das politische Entscheidungsfeld sind dies die politikbetonten Anforderungen: Informationelle Kompatibilität, informationelle Flexibilität und Bedienung politischer Interessen. Für das administrative Entscheidungsfeld sind dies die praxisbetonten Anforderungen: Verständlichkeit, Implementierungsleichtigkeit und Partizipationsfähigkeit. Diese erhalten in den entscheidungsfeldspezifischen Szenarios jeweils die Hälfte der gesamten Gewichtung, während die andere Hälfte zu gleichen Teilen auf die Gewichte der restlichen Anforderungen aufgeteilt wird.

18.2.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung mittels PROMETHEE II nach Entscheidungsfeld und mit verschiedenen Gewichtungsschemata sind in Tabelle 18.8 dargestellt. Der erste Wert stellt jeweils die Rangposition dar und der zweite Wert das absolute Ergebnis der PROMETHEE II Berechnung $\phi(a)$.

Bei Gleichgewichtung aller Anforderungen sind die beiden MCDA Entscheidungsmethoden für den Einsatz im politischen Bereich vorzuziehen. Outranking-Methoden schneiden dabei leicht besser ab als additive Wertgewichtungsmethoden (MAUT/AHP). Die RDM Entscheidungsmethode weist ebenfalls ein positives Gesamtergebnis auf, übertrifft also die anderen Methoden bezüglich der Anforderungen im Schnitt mehr als sie selber übertroffen wird. Die restlichen Entscheidungsmethoden schneiden im Schnitt schlechter ab und weisen ein negatives Gesamtergebnis auf. Die KNA und dicht folgend die KWA liegen nahe eines Null-Wertes, der auf ein gemischtes Ergebnis hindeutet. Portfolio-Analyse und ROA sind weit abgeschlagen und bieten sich für den Einsatz im politischen Entscheidungsfeld eindeutig nicht an.

Noch eindeutiger wird das Ergebnis, wenn die für das politische Entscheidungsfeld besonders relevanten Anforderungen (informationelle Kompatibilität, informationelle Flexibilität und Bedienung politischer Interessen) stärker gewichtet werden. Die beiden MCDA-Methoden und RDM setzen sich dann noch stärker positiv ab, da es relativ flexible Ansätze sind, die den informationellen Anforderungen im politischen Entscheidungsfeld besser genügen. So können mit diesen Methoden gleichzeitig quantitative als auch qualitative Informationen erfasst werden - eine Eigenschaft die bei der Vielfältigkeit und schwierigen Quantifizierbarkeit der im politischen Prozess zu bewertenden Effekte besonders wichtig erscheint. Gleichzeitig sind die politischen Anpassungsentscheidungen den administrativen Entscheidungen oft zeitlich vorge-lagert, was dazu führt, dass nur ungenaue oder aggregierte Informationen vorliegen. Dabei liegt der Vorteil der MCDA-Methoden und RDM darin, dass sie informationell flexibel sind und die Skalierung und Berechnung der zu bewertenden Kriterien frei den verfügbaren Daten entsprechend gewählt werden kann. Schließlich bieten die flexiblen MCDA und RDM-Methoden genügend diskretionäre Spielräume, was sie für die politischen Entscheider attraktiver macht. Auf der anderen Seite zeigen die restlichen Methoden eindeutiger negative Gesamtergebnisse, wenn man die für das politische Entscheidungsfeld besonders relevanten Anforderungen stärker gewichtet. Dies liegt vice versa daran, dass diese Methoden stark formalisiert und dadurch unflexibel sind. Daher lassen sich mit ihnen die im politischen Entscheidungsfeld der staatlichen Anpassung vorliegenden Informationen nur schwer bewerten. Zum Beispiel führt der Monetarisierungszwang bei KNA, PA, ROA im Anpassungsbereich generell, aber besonders bei der Anpassungspolitik, zu Problemen. Die Portfolio-Analyse rutscht dabei vom vorletzten auf den letzten Platz, da die ROA besser bei informationeller Kompatibilität abschneidet.

Insgesamt bieten sich MCDA-Methoden eindeutig besser für die Unterstützung von Anpassungspolitik an als klassische KWA- oder KNA-Methoden sowie die komplexeren ROA- und

PA-Methoden. Dabei sind Outranking-Methoden den additiven Wertgewichtungsmethoden aufgrund ihrer besseren Anwendbarkeit bei zusätzlichen Entscheidungsproblematiken und bei Unsicherheit, leicht vorzuziehen. Auch RDM-Methoden eignen sich gut für das politische Entscheidungsfeld, wenn man Abstriche bei der Eignung zum Monitoring und zur Priorisierung sowie bei prozeduraler Fairness machen kann.

In Vergleich dazu sehen die PROMETHEE II Ergebnisse bezüglich der Bewertungen für das administrative Entscheidungsfeld staatlicher Anpassung zunächst sehr ähnlich aus. Bei Gleichgewichtung aller Anforderungen liegen wieder die MCDA-Methoden vorne, gefolgt von RDM mit vergleichsweise ähnlich positiven Gesamtergebnissen. Im Gegensatz zum Ergebnis im politischen Entscheidungsfeld weisen KWA und KNA jedoch ein leicht positives Gesamtergebnis auf und liegen nah bei der RDM-Methode. Dies liegt wohl vor allem daran, dass sowohl KWA als auch KNA sich im administrativem Entscheidungsfeld besser zum Monitoring eignen als im politischen Entscheidungsfeld, da die Kosten- und Nutzenschätzungen bei politischen Instrumenten genügend Raum für politökonomische Verzerrungen lassen. Zudem ist die prozedurale und interaktionale Fairness dieser Methoden im administrativen Bereich aufgrund der einfacher nachzuvollziehenden monetären Bewertung höher. Portfolio-Analyse und ROA schneiden im administrativen Entscheidungsfeld ähnlich schlecht ab wie im politischen Entscheidungsfeld. Eindeutiger wird der Unterschied zwischen politischem und administrativem Entscheidungsfeld hingegen, wenn man die für das administrative Entscheidungsfeld besonders relevanten praxisbetonten Anforderungen stärker gewichtet. Dann verdrängt die KWA Entscheidungsmethode die RDM-Methode in der Rangfolge. Die einfachste Entscheidungsmethode KWA kann im Vergleich zu der sehr komplizierten RDM-Methode bei den praxisbetonten Anforderungen bezüglich Verständlichkeit und Implementierungsaufwand punkten. Gleichzeitig schneiden bei einer praxisbetonten Gewichtung additive Wertgewichtungsmethoden leicht besser ab als Outranking-Methoden. Dies liegt daran, dass diese in ihrer Funktionsweise einfacher zu verstehen sind.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass sich MCDA-Methoden unabhängig von Entscheidungsfeld vor allem aufgrund ihrer Einfachheit und Flexibilität am besten für die Unterstützung staatlicher Anpassungsentscheidungen eignen. Negative Kehrseite dieser Vorteile ist jedoch die geringe rationalisierende Wirkung dieser Methoden, die jedoch insgesamt nicht überwiegt. Obwohl die RDM-Methode kompliziert und aufwendig in ihrer Umsetzung ist, eignet sich auch die RDM-Methode aufgrund ihrer Anwendbarkeit bei tiefer Ungewissheit gut zum Einsatz im politischen Entscheidungsfeld der staatlichen Anpassung. Klassische ökonomische Entscheidungsmethoden wie KWA und KNA bieten sich aufgrund der besseren Eignung zum Monitoring und höherer rationalisierender Wirkung hingegen besser im administrativen Entscheidungsfeld an.

19. Zwischenfazit

Der Einsatz von Entscheidungsmethoden in der Klimaanpassungspolitik empfiehlt sich wegen der für dieses Feld spezifischen Entscheidungsschwierigkeiten. Klimaanpassungsentscheidungen unterliegen hoher Ungewissheit, sind teilweise irreversibel und komplex, haben zumeist einen langen Planungshorizont und ihre Konsequenzen sind mit sehr hohen Kosten verbunden. Zudem können politische Entscheider sogar persönlich einen Vorteil aus dem Aufgeben eines Teiles ihrer diskretionären Entscheidungsfreiheit ziehen, wie im modelltheoretischen Beispiel in Kapitel 14.2 gezeigt wurde. Schließlich scheinen sich Entscheidungsmethoden gleich für mehrere der in Teil III erbrachten Verbesserungen der derzeitigen Anpassungspolitik in Deutschland zu eignen. Motiviert durch die genannten Besonderheiten untersuchte die präskriptive Analyse in diesem Teil die Eignung der verfügbaren Entscheidungsmethoden für das Einsatzgebiet der Klimawandelanpassung.

Die untersuchten Anforderungen sind dabei sehr vielfältig: Insgesamt soll eine Entscheidungsmethode für die Verbesserung der derzeitigen Anpassungspolitik nützlich sein, also die Rationalisierung der politischen Entscheidungen fördern und die Berücksichtigung von qualitativen Kriterien wie Verteilungsgerechtigkeit und Versorgungssicherheit erleichtern. Zudem muss eine Entscheidungsmethode trotz der anpassungsspezifischen Entscheidungsschwierigkeiten, wie zum Beispiel tiefer Ungewissheit oder hoher Komplexität, anwendbar bleiben. Es wurden auch mehrere Entscheidungsproblematiken identifiziert, die mit entsprechenden Entscheidungsmethoden angegangen werden müssen. Hinzu kommt die Forderung nach prozeduraler und interaktionaler Fairness zur Stärkung der Akzeptanz der Entscheidung in der Bevölkerung. Außerdem gestalten sich die Bedingungen für administrative Entscheidungsträger und politische Entscheidungsträger sehr unterschiedlich, sodass je nach Entscheidungsfeld verschiedene Anforderungen hinzukommen.

Aus der Untersuchung der Methoden auf Erfüllung der aufgestellten Anforderungen lassen sich einige allgemeine Erkenntnisse herleiten. Insgesamt scheinen sich die untersuchten Entscheidungsmethoden besser für den Einsatz im administrativen Bereich zu eignen als im politischen Bereich. Dies liegt vor allem daran, dass die Alternativen bei thematisch oder sektoral begrenzter Anwendung der Methoden genauer bewertet werden können und somit gleichzeitig prozedural fairer erscheinen. Während bei administrativem Einsatz auch die Kostenwirksamkeitsanalyse durch ihre Einfachheit und rationalisierende Wirkung gut abschneidet, sind im politischen Entscheidungsfeld eindeutig multikriterielle Analysen aufgrund ihrer Flexibilität zu bevorzugen. Die Verwendung multikriterieller Methoden kann für die zukünftige Priorisierung

der staatlichen Anpassung somit insgesamt empfohlen werden. Für die Umsetzung konkreter Maßnahmen in der operativen Verwaltung kann jedoch bei Ressourcenmangel auch auf die Kostenwirksamkeitsanalyse zurückgegriffen werden.

Diese Empfehlung ist vor dem Hintergrund der weiteren Entwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie besonders relevant, da diese mitunter verstärkt zur operativen Umsetzung übergeht. Der Vorschlag für die Priorisierung der politischen Maßnahmen im Rahmen des Aktionsplanes Anpassung mittels additiver Wertgewichtungsmethode (PrioSet von Blobel et al., 2016) ist somit zunächst generell zu begrüßen. Gleichzeitig soll darauf hingewiesen werden, dass mit dem Outranking-Ansatz ebenso einfache und dennoch vielseitiger einsetzbare Methoden zur Verfügung stehen, die sich zudem besser für den Einsatz unter Unsicherheit eignen. Sollte in Zukunft hingegen stärkeres Gewicht auf die Rationalisierung der administrativen Auswahl von staatlichen Anpassungsmaßnahmen gelegt werden, dann kann im operativen Einsatzbereich die Kostenwirksamkeitsanalyse ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Teil V.

Fazit und Ausblick: Eine rationale Klimaanpassungspolitik?

Aus normativer Perspektive fallen der Anpassungspolitik zweierlei Aufgaben zu. Einerseits soll sie die Rahmenbedingungen für die private Anpassungstätigkeit sicherstellen. Andererseits kann und soll Anpassungspolitik dort eingreifen, wo die marktwirtschaftliche Interaktion zu keiner optimalen Allokation der Ressourcen führt. Dabei ist die optimale Allokation nicht nur durch ökonomische Effizienz definiert, sondern bezieht sich im Falle von Anpassungspolitik auch auf andere Ziele wie distributive Gerechtigkeit und Versorgungssicherheit.

Die Rahmenbedingungen für die private Anpassung sind in Deutschland weitestgehend gegeben. Die Entwicklung von Anpassungsstrategien wird momentan auf verschiedenen politischen Ebenen vorangetrieben. Was jedoch fehlt, ist die Identifizierung von Marktversagen und eine entsprechend ausgerichtete Anpassungspolitik. Die verschiedenen durch die Anpassungspolitik zu tätigen Eingriffe wurden in dieser Arbeit umfassend dargestellt. Mit der alleinigen Festlegung optimaler staatlicher Eingriffe in das autonome Anpassungsverhalten sind jedoch nicht alle Probleme gelöst; die Anpassungsproblematik ist in mancherlei Hinsicht speziell: Lange Planungshorizonte, tiefe Unsicherheiten und viele Synergien sowie Konflikte mit unterschiedlichen Handlungsbereichen machen die zu treffenden Entscheidungen auf staatlicher Seite äußerst komplex, undurchsichtig und damit anfällig für Ineffizienzen. An dieser Stelle können Entscheidungsmethoden helfen, die Komplexität der Entscheidung für politische Akteure handhabbar zu machen sowie den Entscheidungsprozess zu rationalisieren, indem sie ihn transparenter machen und den Einfluss von Eigeninteressen minimieren. Auch diese Möglichkeit zur Verbesserung der deutschen Anpassungspolitik wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht. Wie die Analyse in Kapitel 18 zeigt, eignen sich nicht alle Entscheidungsmethoden gleich gut für die Unterstützung politischer Anpassungsentscheidungen. Während rein ökonomische Methoden wie die Kostenwirksamkeitsanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse durch die strenge Monetarisierung aller Effekte eine vergleichsweise hohe Rationalisierungswirkung haben, gibt es darüber hinaus andere relevante Funktionen, die eine Entscheidungsmethode im Anpassungsbereich zu erfüllen hat. So muss eine Entscheidungsmethode auch mit der tiefen Ungewissheit in diesem Bereich umgehen können. Zudem ist der Erfolg der Verwendung einer Entscheidungsmethode abhängig von der Akzeptanz der mit ihr getroffenen Entscheidung, die wiederum davon abhängig ist, wie prozedural und interaktional fair die Methode auf die Stakeholder wirkt. Im politischen Entscheidungsfeld ist es außerdem besonders schwer, quantifizierbare Kriterien wie Gerechtigkeit und Robustheit zu bewerten. Diese zusätzlichen Anforderungen bewirken, dass nicht die am stärksten rationalisierenden Methoden sich am besten für die Unterstützung der Anpassungspolitik eignen, sondern eher die Methoden, die leichte Inkonsistenzen zulassen wie die Multikriterielle Analyse.

Somit bleibt zum Schluss die Frage: Ist dieses Abweichen von dem Rationalitätsgrundsatz der Ökonomie im Fall der Anpassungspolitik tatsächlich gerechtfertigt? Als Gegenfrage ließe sich leicht einbringen: Wie viel „Rationalität“ kann man von der Politik in einem Bereich fordern, der gekennzeichnet ist durch Unsicherheit und Ungewissheit? Immerhin bedeutet Rationalität nicht automatisch Optimalität. Trotz Monetarisierung aller verschiedenartigen Effek-

te von Anpassungsmaßnahmen bleiben aufgrund von unsicherer Klimaentwicklung, Wirkung der Maßnahmen, Entwicklung der Kosten und vieler anderer Unsicherheiten genügend Ermessensspielräume und damit Möglichkeiten für individuell rationale aber gesamtgesellschaftlich dennoch suboptimale Entscheidungen. Dabei vermittelt die Verwendung streng monetarisierender Methoden, die eine exakte Bewertung der Alternativen vorzunehmen vorgibt, eine Sicherheit, die es in diesem Bereich nicht geben kann. Zu guter Letzt können zudem besonders bei politischen Anpassungsmaßnahmen viele relevante Aspekte aufgrund der Vielfältigkeit ihrer Wirkung nicht zufriedenstellend monetär bewertet werden.

Diese Arbeit schlägt vor, über die rein ökonomische Betrachtungsweise hinauszugehen und zusätzlich andere Faktoren zu berücksichtigen, um dennoch eine Verbesserung des staatlichen Anpassungshandelns zu bewirken. Es lohnt sich zu Gunsten anderer Faktoren wie gesellschaftlicher Akzeptanz oder Praktikabilität, Abstriche bei der Rationalisierung der politischen Entscheidungen zu machen, wenn dadurch das Ergebnis verbessert wird.

Dem Ruf nach Objektivierung und Rationalisierung mittels monetärer Bewertung wurde im Anpassungsbereich dennoch zum Beispiel im Vereinigten Königreich nachgegeben. Die momentane Entwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie scheint mit dem Vorschlag für die Priorisierung in eine andere Richtung zu gehen. Welcher Entscheidungsmodus sich jedoch etabliert und ob überhaupt Entscheidungsmethoden zum Einsatz kommen, bleibt jedoch abzuwarten. Zu betonen bleibt in dieser Hinsicht, dass die Verwendung jeglicher untersuchten Entscheidungsmethoden einer freien diskretionären Ausgestaltung der staatlichen Anpassung vorzuziehen ist, da ansonsten mit Ineffizienzen oder gar Staatsversagen zu rechnen ist. Eine Verwendung von Entscheidungsmethoden würde besonders bei der operativen Umsetzung im administrativen Bereich die Qualität der Entscheidungen verbessern, da sie den Entscheidungsprozess transparent macht und das Zusammentragen detaillierter Informationen erzwingt. Aber auch die Anpassungspolitik kann von einer derartigen Unterstützung nur profitieren.

Anhang

A. Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland

Der Klimawandel zeigt bereits jetzt erste Auswirkungen und wird auch in Deutschland zukünftig weitreichende Anpassungsmaßnahmen sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich unumgänglich machen. Wesentliche Auswirkungen sind in folgenden thematischen Handlungsfeldern zu erwarten: Gesundheit, Wasser, Land- und Forstwirtschaft, Transport, Energie und Tourismus.¹ Diese werden im Folgenden genauer erläutert.²

A.1. Gesundheitswesen

Der Klimawandel hat sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Direkte Auswirkungen umfassen Folgen von thermisch extremen Klima- und Wetterzuständen wie Überschwemmungen, Stürmen, Hitze- und Kältestress auf den menschlichen Körper. Sowohl Wärme- als auch Kältebelastung erhöhen die Belastung des Herzkreislaufsystems und der Atmung (Koppe et al., 2003). Besonders alte und gesundheitlich vorbelastete Menschen sind von diesen Auswirkungen betroffen, aber auch sozioökonomische Faktoren spielen eine Rolle (Parry, 2000). Verschiedene Studien bestätigen die Erhöhung von Sterblichkeit aufgrund von Hitze auch in Europa (Kovats & Hajat, 2008; Åström et al., 2013). Der IPCC geht für Europa mit hoher Konfidenz von einer Zunahme von Temperaturextremen mit mehr warmen Tagen, warmen Nächten und Hitzewellen aus (IPCC, 2014b, S. 1276). Damit verbunden erwartet der Weltklimarat mit mittlerer Konfidenz eine Erhöhung von hitzebedingten Todesfällen (Mortalität) und Verletzungen (Morbidität) (IPCC, 2014b, S. 1272). In Städten verstärken sich die Auswirkungen von Hitze durch den städtischen Wärmeinseleffekt, da sich die Bebauung tagsüber aufheizt ohne sich nachts wieder abzukühlen. Besonders in Metropolen wie London oder Paris wird erwartet, dass sich dieser Effekt durch den Klimawandel verstärkt (Wilby, 2008; Lemonsu et al., 2013), denn neben der Größe der Stadt hängt die Stärke des Wärmeinseleffektes von der Höhe und Dichte der Bebauung, sowie vom Grünflächenanteil und den verwendeten Baumaterialien ab. Hitze spielt dabei auch in Deutschland eine wichtige Rolle (Zebisch et al., 2005; Held et al., 2012). Bei der Hitzewelle im Sommer 2003 kamen zum Beispiel allein in

¹ Diese Einteilung orientiert sich an Zebisch et al. (2005) ist jedoch vergleichbar mit der Einteilung des Weltklimarats (siehe IPCC, 2014b).

² In Abschnitt 8.3 werden die entsprechenden Instrumente beschrieben mit denen die Politik diesen Auswirkungen begegnen kann.

Baden-Württemberg näherungsweise 2000 Menschen hitzebedingt ums Leben (Stock, 2005). Bisweilen scheint jedoch das Problem von Kältesterblichkeit ähnlich wichtig zu sein wie das von Hitzesterblichkeit (Analitis et al., 2008). Ob der Nettoeffekt des Klimawandels aufgrund steigender Temperaturen positiv ist, mit weniger Belastung durch kalte Temperaturen und mehr durch warme Temperaturen, ist in der Literatur umstritten, vor allem da Studien zur Wirkung auf die Kältemortalität unzuverlässig sind (Jendritzky, 2007).

Die indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit betreffen vor allem negativ veränderte Umweltbedingungen, wie die Qualität von Wasser, Luft und Nahrungsmitteln (Zebisch et al., 2005). Wasserknappheiten aufgrund veränderter Klimabedingungen können die Verfügbarkeit sauberen Wassers und die Wasseraufbereitung beeinflussen. Oberflächen- und Küstengewässer können nach starken Regenfällen mit Abwässern oder Chemikalien (z. B. Pestiziden) verunreinigt werden (Boxall et al., 2008). Außerdem stellt eine vermehrte Blaualgenaufkommen in Flüssen, Seen sowie in Nord- und Ostsee durch eventuelle toxische Ausscheidungen eine weitere indirekte Auswirkung dar (Mooij et al., 2007). Sowohl die Auswirkungen von Wasserknappheit als auch der Algenblüte waren im Sommer 2003 zu beobachten.

Die erhöhte Verbreitung, Population und ein erhöhtes Infektionspotenzial von Krankheitsüberträgern (Vektoren) wie blutsaugenden Insekten, Zecken und Nagetieren stellen weitere indirekte Auswirkungen des Klimawandels dar (Zebisch et al., 2005). Neben durch Zecken übertragenen Borreliose sind dabei in Zukunft bei wärmeren Klimabedingungen auch zu Malariainfektionen denkbar. Zwar ist der Einfluss des Klimawandels auf das Gesundheitsrisiko durch von Vektoren übertragenen Krankheiten nicht ganz geklärt (Grunewald et al., 2001), aber die Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen verbessern sich mit ansteigender Temperatur und es wird von einer steigenden Gefahr ausgegangen (WHO, 2003). Der IPCC geht mit mittlerer Konfidenz von einer Änderung der Verbreitung und der saisonalen Muster von Infektionen, auch durch Gliederfüßer, in Europa aufgrund des Klimawandels aus. Dem Auftreten neuer ansteckender Krankheiten wird jedoch nur eine niedrige Konfidenz beigemessen IPCC (2014a, S. 1272).

A.2. Wasserversorgung und Hochwasserschutz

Potentielle negative Auswirkungen des Klimawandels im Wasserbereich umfassen die steigende Hochwassergefahr, die Verringerung des Wasserdargebots im Sommer und den Anstieg des Meeresspiegels und das damit verbundene erhöhte Sturmflutrisiko. Die Wirkungen auf Hochwassergefahr und Wasserdargebot ergeben sich vor allem aus der erwartenden Verschiebung der Niederschläge vom Sommer zum Winter und einer steigenden Verdunstung als Folge höherer Temperaturen (Zebisch et al., 2005).

A.2.1. Hochwasserschutz

Die Gründe für Flusshochwasser sind vor allem Starkniederschläge und die Schneeschmelze (Bartels et al., 2005). In den Wintermonaten ist dabei eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlagsereignissen bereits statistisch nachgewiesen (Schönwiese, 2005). Der Weltklimarat geht generell mit hoher Konfidenz von einem weiteren Anstieg von Starkregenereignissen in Europa aus (IPCC, 2014b, S. 1277f.). Die verwendeten regionalen Klimamodelle sagen auch für die Zukunft in Deutschland besonders in den Wintermonaten einen signifikanten Anstieg von Starkregen voraus (Jacob et al., 2014). Durch die klimawandelbedingte Verfrühung der Schneeschmelze im Alpengebiet, kann diese mit den Regenfällen im Winter und Frühjahr im Mittelgebirge zusammenfallen und damit zu Hochwasser, besonders im Mittel und Unterrhein, führen (Held et al., 2012). Zudem gefährdet sind der Alpenraum und Gebiete ohne ausreichende Retentionsflächen aber mit hoher Bebauungsdichte. Insgesamt können diese Entwicklungen ohne Anpassung zu beträchtlichen Überflutungsschäden führen. Direkte Flusshochwasserschäden haben in den letzten Jahrzehnten bereits zugenommen, dieser Anstieg ist jedoch auf die Entwicklung in den Überflutungsgebieten zurückzuführen und nicht auf den beobachteten Klimawandel (IPCC, 2014b, S. 1271).

A.2.2. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

Das *Wasserangebot* ist abhängig von der klimatischen Wasserbilanz, die sich aus der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung errechnet. Der Weltklimarat rechnet mit mittlerer Konfidenz mit einer signifikanten Verringerung der Wasserverfügbarkeit aus Flussentnahme in Europa (IPCC, 2014b, S. 1272). Besonders in Ostdeutschland und im Rhein-Main-Gebiet wird eine negative Tendenz des Wasserangebots erwartet, in den verschiedenen Gebirgen hingegen rechnet man mit einer positiven klimatischen Wasserbilanz (BMU, 2003).

Der *Wasserbedarf* variiert dabei in Deutschland regional hingegen sehr stark. Die Besiedlungs- und Industrialisierungsgrade spielen hierbei eine große Rolle. In den Sommermonaten sind vor allem die zentralen und östlichen Gebiete Ostdeutschlands von Dürren gefährdet (Zebisch et al., 2005). Bei Wasserknappheit sind vor allem Land- und Forstwirtschaft, Energieversorgung und Schifffahrt, aber auch die Qualität der Trinkwasserversorgung betroffen. Der Weltklimarat geht mit hoher Konfidenz für Europa vor allem von einem Anstieg des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfes und gleichzeitig von einer Erschwerung der Bewässerungsbedingungen durch verringerte Abflüsse, steigenden Nachfrage aus anderen Sektoren (Energie, Industrie und Haushalte) und steigende wirtschaftliche Kosten aus (IPCC, 2014b, S. 1271). Auf die Landwirtschaft ist in Deutschland jedoch mit 1,2 Prozent nur ein vergleichsweise sehr kleiner Anteil des Wasserverbrauchs zurückzuführen³, während die Mehrheit (57 Prozent) des Wassers in Deutschland zur Energieversorgung verwendet wird (Statistisches Bundesamt, 2012). Da insgesamt nur ein Teil der deutschen Wasserressourcen genutzt wird, ist die Wasserversorgung

³ Global wird dieser Anteil auf circa 70 Prozent geschätzt (UNESCO, 2012, S. 46).

in Deutschland, bis auf Regionen mit einer ungünstigen Wasserbilanz (v.a. Brandenburg), weitestgehend gesichert (Zebisch et al., 2005). Der Weltklimarat spricht sich jedoch für Europa für ein integriertes oder sogar grenzen-übergreifendes Wassermanagement zur Bedienung der verschiedenen Nachfragen aus (IPCC, 2014b, S. 1271).

A.2.3. Küstenschutz

Die Küstenlänge in Deutschland beträgt etwa 3700km, davon gehören ca. 1600km zur Nordsee und 2100km zur Ostsee. Etwa zwei Drittel der deutschen Küsten erodieren aufgrund von sandigem Boden und während nur etwa ein Viertel der Ostseeküste mit Deichen vor Fluten gesichert ist, sind es an der Nordsee etwa 85% (Sterr, 2008). Bei einem Meeresanstieg von 1m würde die Wahrscheinlichkeit von Überflutungen in Küstengebieten von 1/100 (derzeitig Nordsee 1/100; Ostsee 1/250 bis 1/1000; siehe Held et al. 2012) auf 1/10 bis 1 ansteigen. Der Weltklimarat prognostiziert je nach Klimaszenario einen wahrscheinlichen Anstieg des mittleren Meeresspiegels in den Jahren 2081 bis 2100 zwischen 26 cm und 82 cm (IPCC, 2014c, S. 60). Die zukünftige Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs ist mit vielen Unsicherheiten behaftet. Vor allem die thermale Ausdehnung aufgrund erhöhter Wassertemperatur und die Gletscher-/Festlandeiskappenschmelze sind bezüglich ihres Ausmaßes ungewiss. Zudem stellen Sturmfluten, bei denen der Wind das Wasser auf die Küsten zutreiben, eine unberechenbare Gefahr dar, die jedoch eindeutig mit steigendem Meeresspiegel zunimmt. Laut Weltklimarat wird der Meeresspiegelanstieg ohne Anpassungsaktivitäten mit hoher Konfidenz die wirtschaftlichen Überflutungsschäden und Personenschäden beträchtlich erhöhen (IPCC, 2014b, S. 1279f.) Der Weltklimarat warnt zudem vor Beschädigung des kulturellen Erbes, einschließlich Gebäuden, lokaler Industrien, Landschaften, archäologischer Stätten und Kultstätten durch den Meeresspiegelanstieg (IPCC, 2014b, S. 1272).

A.3. Land- und Forstwirtschaft

Der Zeitpunkt des Eintretens verschiedener Wachstums- und Entwicklungsphasen von Pflanzen (Phänologie) wird grundlegend von der Temperatur beeinflusst. Höhere Temperaturen verfrühen phänologische Phasen und verlängern die Vegetationsperioden. In gemäßigten und nördlichen Gefilden wurde bereits eine Verfrühung des Ergrünens, der Blattbildung und Fruchtbildung festgestellt (Menzel et al., 2006), die vom Weltklimarat mit hoher Übereinstimmung bestätigt wird (IPCC (2014b)). Chmielewski (2007) hat berechnet, dass sich die Vegetationsperioden in Deutschland bis 2100 aufgrund des Klimawandels um 2 Monate verlängern könnten.⁴ Bei Pflanzen, die auch in der Reifephase weiterwachsen (z.B. Zuckerrüben) oder die lange Reifephase aufweisen (z.B. Hirse) würde dies die landwirtschaftlichen Erträge erhöhen. Zudem könnte es durch die Erhöhung der Durchschnittstemperatur auch zu einer Arealverschiebung oder -erweiterung von wärmelimitierten Arten kommen, die nur bei ausreichender Temperatur

⁴ Verwendet wurde das REMO A2-Klimaentwicklungsszenario des IPCC.

wachsen (z.B. Kartoffel, Zuckerrübe). Die positiven Auswirkungen auf Erträge und die Ausdehnung der klimatisch geeigneten Landfläche könnte die Getreideproduktion in Deutschland erhöhen (Bindi & Olesen, 2011). Gleichzeitig kann jedoch durch einen früheren pflanzlichen Lebenszyklus auch das Risiko von Spätfrostschäden im Frühjahr steigen (Weigel, 2011).

Der Stoffwechsel und das Wachstum von Pflanzen hängt von Durchschnitts- und Extremtemperaturen ab. Positive Effekte bei Photosynthese und Wachstum können besonders bei Pflanzen mit suboptimaler Temperatur durch steigende Durchschnittstemperaturen eintreten. Das Wachstum könnte somit in wärmeren Winter- und Frühjahresmonaten steigen. Höhere Durchschnittstemperaturen beeinflussen die einzelnen Wachstumsphasen jedoch unterschiedlich. Getreidearten wie Weizen oder Gerste reagieren durch fixe Reife- und Entwicklungsstadien negativ auf Entwicklungsbeschleunigung durch erhöhte Temperatur (van Oijen & Ewert, 1999). Eine durchschnittliche Erhöhung von 1°C kann zu einer Verkürzung der Kornfüllungsphase von 5% und damit zu einem Ertragsverlust von 10 % führen, welches sich im Nord-Süd-Gefälle der Weizenerträge in Europa widerspiegelt (Weigel, 2011). Bei Überschreitung der optimalen Temperatur kann es zudem bei allen Pflanzen zu Schäden kommen, so überwiegen zum Beispiel ab einer Temperatursteigerung von etwa 2°C bei vielen Baumarten in Deutschland die negativen Effekte (Hirschberg et al., 2003). Hitzestress bei zu hohen Temperaturen (über 30°C bzw 35°C) kann auch negative Auswirkungen auf Weizen, Mais, Reis oder Tomaten haben. Zudem hat laut simulierten Modellrechnungen die Temperaturvariabilität negative Auswirkungen auf den Ertrag von Weizen und erhöht die Ertragsvariabilität überproportional (Weigel, 2011).

Hohe Durchschnittstemperaturen beeinträchtigen zudem die Milchproduktion und das Wachstum von Nutztieren. Auch die Verbreitung verschiedener Nutztierkrankheiten wurde bereits vom Klimawandel beeinflusst (IPCC, 2014b, S. 1286). Durch höhere Temperaturen im Winter steigen die Überlebensraten von tierischen Schädlingen. Außerdem trägt eine verlängerte Vegetationsperiode dazu bei, dass sich mehrere Generationszyklen entwickeln und die Population über das Jahr gesehen steigt (Zebisch et al., 2005). So hatte die Hitzewelle im Jahr 2003 eine explosionsartige Ausbreitung von Waldschädlingen wie Borkenkäfer und Nonnen zur Folge. Auch Pilze werden durch höhere Temperaturen beeinflusst. Trockenere und heißere Sommer hingegen können jedoch das Risiko von schädlichem Pilzbefall verringern. Auch die Ausbreitung wärmeliebender Ackerunkräuter kann mit einer steigenden Temperatur in Deutschland zunehmen. Jedoch weist Weigel (2011) insgesamt darauf hin, dass die klimatischen Veränderungen auch Nützlinge begünstigen können, sodass der Nettoeffekt der Veränderungen bezüglich der Schad- und Nutzorganismen zurzeit noch nicht beurteilt werden kann. Insgesamt kommt der Weltklimarat jedoch zu dem Schluss, dass bereits jetzt der Klimawandel in Europa zu einem Anstieg der Erkrankungen durch Krankheitsüberträger und einer nordwärtigen Verlagerung durch Zecken übertragenen Krankheiten geführt hat (IPCC, 2014b).

Neben der Veränderung der Temperatur spielen bezüglich des Klimawandels Veränderungen des Wasserhaushalts für die Land- und Forstwirtschaft eine wichtige Rolle, da es ein zentrales Element für die Photosynthese der Pflanzen darstellt. Wenn zu wenig Wasser zur Verfügung

steht sinkt die Photosyntheserate der Pflanzen und es kann zu Ertragsverlusten kommen. Trockenstress kann zu Wachstumsverzögerung und bei extremer Trockenheit sogar zu irreversiblen Schäden an den Pflanzen (z.B. Feinwurzeln) führen, falls Wassermangel aufgrund mangelndem Niederschlag oder Bewässerung auftritt. Innerhalb einer weiten Temperaturspanne entscheidet der Wasserhaushalt welche Pflanzen angebaut werden können und welche nicht. Die Wälder in Deutschland sind vor allem durch Trockenstress gefährdet. Beim Waldbestand hängt die Trockenstressresistenz stark von der Baumart ab, so sind im Gegensatz zu Kiefern sowohl Fichten als auch Buchen wenig trockenheitsresistent (Zebisch et al., 2005). Die Fichte ist die häufigste Baumart in Deutschland und ist zudem in dem zukünftig von Dürren gefährdetem Südwestdeutschland die Hauptbaumart. Zudem wird eine Erhöhung des Waldbrandrisikos für den deutschen Raum erwartet IPCC (2014b, S. 1287).

Sollten mit dem Klimawandel Trockenperioden zunehmen, dann birgt dies Risiken für Land- und Forstwirtschaft. Die Hitzewelle im Jahr 2003 zeigte die Auswirkungen von Trockenheit. Besonders betroffen waren Gebiete mit sandigen Böden (geringe Wasserrückhaltekapazität), einer ungünstigen Wasserbilanz und mit hohen Sommertemperaturen: Brandenburg, Teile Sachsens und Südwestdeutschlands (Zebisch et al., 2005). In Brandenburg beliefen sich die Ertragseinbußen im Jahre 2003 sogar auf 40%.⁵ Die im Hitzesommer 2003 entstandenen Schäden beim Baumbestand können länger als 10 Jahre in geringeren Wachstumsraten nachwirken (Anders et al., 2004).

Während Trockenheit zumeist mit verstärkter Bewässerung entgegengewirkt werden kann, sind Extremwetterereignisse schwerer vorherzusehen. Hagel oder Sturm können innerhalb kurzer Zeit erhebliche Schäden in der Land- und Forstwirtschaft anrichten. Aber auch Starkregen und Hochwasserereignisse können land- und forstwirtschaftlichen Anbau schädigen. Es wird erwartet, dass boreale Wälder verwundbarer für Herbst- und Frühlingsstürme werden, da die Böden seltener gefroren sein werden (Gardiner et al., 2010).

Generell kann auch ausgegangen werden, dass durch die Verschiebung der Anbaugebiete um ca. 100-150 km nordwärts oder 100m höher pro Grad Temperaturanstieg sich die Anbaumöglichkeiten verändern (Weigel, 2011). In der deutschen Landwirtschaft werden sich somit die Bedingungen für Sommergetreide, Körnermais, Soja und Hirse verbessern. Insgesamt rechnet der Weltklimarat mit einem Anstieg der Getreideerträge in Nordeuropa und einer Verringerung der Getreideerträge in Südeuropa durch den Klimawandel (IPCC, 2014b), wobei die wissenschaftlichen Ergebnisse für ersteres weniger eindeutig sind. In der Forstwirtschaft sind von der Verschiebung der Wachstumszonen besonders Baumarten mit geringem Toleranzbereich wie Tannen oder Baumarten mit kühlen und feuchten Optimalverhältnissen wie Fichten betroffen. Insgesamt geht der Weltklimarat jedoch von einem Anstieg der Produktivität der Wälder in Nordeuropa aus, obwohl zudem mit mehr Schädlingen und Krankheiten gerechnet wird (IPCC, 2014b).

⁵ Schleswig-Holstein hingegen konnte die Erträge sogar um 7,9% steigern, da es sonst ein kühles und regenreiches Klima aufweist.

A.4. Transport

Der Weltklimarat rechnet für Europa mit ökonomischen Schäden und Anpassungskosten im Bereich Transport durch extreme Hitze- und Kältewetterlagen, aber auch mit einigen Vorteilen vor allem im Winter (IPCC, 2014b). Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die einzelnen Transportarten dargestellt.

A.4.1. Straßenverkehr

Hohe Temperaturen im Sommer lassen asphaltierte Straßen schneller altern und fördern die Brüchigkeit (Pomerantz et al., 2000). Bei Autobahnen aus Betonplatten kann Hitze die Fahrbahnfläche zerstören und Knicke (sog. “Blow-Ups”, siehe Eisenmann & Leykauf 2003) in der Fahrbahnfläche hervorrufen, was wiederum zu Unfällen führen kann.

Stürme, starke Niederschläge, Schnee, Eis und Nebel können den Straßenverkehr behindern und zu Unfällen führen, jedoch ist die Intensität der Unfälle dann tendenziell geringer (Eisenberg & Warner, 2005). Entstehende Verspätungen im Straßenverkehr können jedoch beachtliche volkswirtschaftliche Kosten mit sich bringen (Zebisch et al., 2005). Wärmere Wintertemperaturen hingegen vermindern das Unfallrisiko, die Winterdienstkosten, die Umweltschäden der Verwendung von Streusalz und verlängern die Straßenbausaison (Transportation Research Transportation Research Board, 2008). Der IPCC geht für Europa sogar mit mittlerer Konfidenz von einer Verminderung von schweren Verkehrsunfällen durch den Klimawandel aus (IPCC, 2014b, S. 1271).

A.4.2. Schienenverkehr

Die meisten materiellen Versagen im Schienenverkehr werden durch Wetterextreme wie Vereisung, Hitze, Sturm und Blitzschlag verursacht (Koetse & Rietveld, 2009). Auch hier kann es zu entsprechenden Verzögerungen und Verspätungen kommen, die in einen entsprechenden volkswirtschaftlichen Schaden resultieren. Im Bezug auf Vereisung ist jedoch mit einem Rückgang in Folge des Klimawandels zu rechnen. Bei sehr hohen Temperaturen können sich die Schienen verformen und es kann zu Versagen der maschinellen Ausstattung kommen (Transportation Research Transportation Research Board, 2008). Hitze spielt jedoch im Güterverkehr vermutlich eine geringe Rolle, da dieser hauptsächlich in der Nacht betrieben wird (Held et al., 2012). Stürme können Oberleitungen beschädigen und Bäume auf die Schienen werfen. Bei starken Niederschlägen kommt es zudem oft zu Überflutungen von Tunneln oder Trassen. Vor allem Küstengebiete sind von Überflutungen gefährdet und geben zudem weniger Ausweichmöglichkeiten. Die Effekte von extremen Wetterereignisse auf den Schienenverkehr und die regionalen Auswirkungen innerhalb Europas sind dem Weltklimarat zufolge jedoch nicht eindeutig (IPCC, 2014b, S. 1281).

A.4.3. Schifffahrt

Veränderungen in Temperatur und Niederschlag haben Auswirkungen auf die Pegelstände der Flüsse, von denen die Binnenschifffahrt abhängig ist.⁶ Bei niedrigen Wasserständen können die Schiffe ihre maximale Ladekapazität nicht ausschöpfen, was signifikant die Transportkosten erhöht (Koetse & Rietveld, 2009). Vor allem Elbe, Rhein und Weser sind in Deutschland von klimabedingten Pegelschwankungen betroffen (Zebisch et al., 2005). Jonkeren et al. (2007) zeigen, dass allein durch die Niedrigwasserstände in der Rheinschifffahrt im Hitzejahr 2003 ein Wohlfahrtsverlust von 91 Mio. € (etwa 13 Prozent des Marktumsatzes des Rheinschifffahrt) entstanden ist. Zudem ist auch in der Schifffahrt die maschinelle Ausstattung anfällig für hohe Temperaturen.

Im Winter kann es hingegen aufgrund höherer Niederschlägen bei Hochwasser zur Sperrung der Schifffahrt kommen, da die Strömungsgeschwindigkeiten oder der Wellenschlag zu hoch sind (Zebisch et al., 2005). Die mit dem Klimawandel erwarteten milderen Winter hingegen, lassen erwarten, dass es zu weniger Eisbildung auf den Inlandswasserwegen kommt und somit zu besseren Transportbedingungen.

Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten kommen zu dem Schluss, dass ein Temperaturanstieg von 1°C bis 2°C bis 2050 die Hochwassertage im Winter und die Niedrigwassertage im Sommer auf dem Rhein erhöhen wird IPCC (2014b, S. 1281).

A.4.4. Luftfahrt

Auch die Luftfahrt ist anfällig für Wetterextreme wie Gewitter, Schnee, Eis und Nebel. Eine höhere Temperatur verringert bei gleichem Luftdruck die Luftdichte. Dies wiederum verringert die Leistung der Flugzeugtriebwerke und das Auftriebsverhalten der Flugzeugtragflächen. Letztendlich benötigten Flugzeuge bei höherer Temperatur eine längere Startbahn oder geringeres Abfluggewicht, um die Abhebegeschwindigkeit zu erreichen (Transportation Research Board, 2008). Entsprechend steigen auch mit der Anzahl von Hitzetagen die Transportkosten. Zudem kann Hitze die Start- und Landebahnflächen beschädigen.

Eine Verminderung der Frosttagen kann hingegen den Transport per Luftfracht begünstigen, da weniger Schnee- und Eisbeseitigung benötigt wird (Transportation Research Board, 2008).

A.5. Energieversorgung

A.5.1. Thermische Kraftwerke

Zu thermischen Kraftwerken gehören alle Kraftwerke, die aus thermischer Energie Strom erzeugen, wie z.B. Atomkraftwerke, (Braun-)Kohlekraftwerke, Gaskraftwerke. All diese Kraft-

⁶ Hennegriff et al. (2006) prognostizieren für Baden-Württemberg bis 2050 eine Abnahme des Niedrigwasserabflusses in den Sommermonaten um durchschnittlich 14 Prozent, einen um einen Monat früheren Beginn des Niedrigwasserabflusses und eine Abflusszunahme im Winter und Frühling.

werke benötigen im Stromerzeugungsprozess Wasser zur Kühlung, das je nach Kühltechnik aus anliegenden Flüssen bezogen und dort auch wieder eingeleitet wird. Diesbezüglich gibt es auch rechtliche Beschränkungen.⁷ Die Belastung der Gewässer und der Fauna und Flora erfolgt je nach Kühlverfahren entweder durch erhöhte Temperatur des wieder eingeführten Wassers oder durch Verdunstungsverluste (Weisz et al., 2013). Im Jahre 2010 wurde in Deutschland mit einem Anteil von 57 Prozent am Gesamtverbrauch das meiste Frischwasser für die Energieversorgung verwendet (Statistisches Bundesamt, 2012). Kommt es zu Wassermangel oder können die Kraftwerke nicht genug Kühlwasser wieder ableiten, dann müssen die Kraftwerke ihre Leistung drosseln. So mussten in der Hitze- und Trockenperiode von 2003 mehrere Kraftwerke sogar komplett herunter gefahren werden. Zudem ist die thermische Effizienz abhängig von der Außentemperatur.

Linnerud et al. (2011) stellen in einer ökonometrischen Untersuchung für europäische Atomkraftwerke fest, dass eine Temperaturerhöhung von 1°C aufgrund des thermalen Effizienzverlustes nur eine Verringerung der Stromerzeugung um 0,5 Prozent hervorrufen würde.⁸ Bei Hitzewellen und Dürren hingegen kann ihren Ergebnissen nach der Rückgang der Stromerzeugung aufgrund der Kühlwasserproblematik und entsprechender wasserrechtlicher Regulierungen immerhin 2% übersteigen. Förster & Lilliestam (2010) simulieren hingegen verschiedene Szenarien (Temperaturanstieg bis 5°C und Abflussmengenreduzierung bis 50 Prozent) für ein einzelnes Atomkraftwerk. Bei ausschließlichem Temperaturanstieg berechneten sie einen Auslastungsrückgang von bis zu 11,8 Prozent (Verlust von 81 Mio. Euro).⁹ Bei gleichzeitigem Abflussrückgang resultierte ein Auslastungsrückgang von bis zu 16,2 Prozent (110,5 Mio. Euro Verlust). In verschiedenen Simulationen berechnen Weisz et al. (2013), dass die mittlere Jahresproduktion von thermischen Kraftwerken je nach Klimaszenario bis 2055 nur bis zu 1,4 Prozent sinken wird.¹⁰ Regional (-4,9 Prozent in der Rhein-Main-Neckar-Region) und vor allem in "extremen" Jahren (-5,5 Prozent als mittleres Jahresminimum von 2010 bis 2050; absolutes Minimum: -20 Prozent) simulieren Weisz et al. (2013) jedoch größere Auswirkungen. van Vliet et al. (2012) hingegen schätzen, dass die nutzbare Kapazität von thermischen Kraftwerken in Europa im Sommer zwischen 2031-2060 im Vergleich mit 1971-2000 um 6 bis 19% abnehmen wird, welchem der Weltklimarat mit hoher Konfidenz und Übereinstimmung zustimmt (IPCC, 2014b, S. 1271).

Indirekt haben die Auswirkungen des Klimawandels auf die Land- und Forstwirtschaft (siehe Section A.3) zudem Konsequenzen für die Energiegewinnung aus Biomasse. Änderungen bei

⁷ Zurzeit ergeben sich aus der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL - 2000/60/EG) die Maximalwerte zur Wasserentnahmemenge, Kühlwasseraufwärmung und zur Einleit-/Mischtemperatur in Bewirtschaftungs- und Wärmelastplänen (z.B. für die Tideelbe von 2008).

⁸ Weisz et al. (2013) weisen jedoch darauf hin, dass die thermische Effizienz stärker sinkt je höher die Ausgangstemperatur ist. Da in der Untersuchung von Linnerud et al. (2011) die Ausgangstemperaturen jedoch niedrig sind, sinkt die thermische Effizienz nur wenig.

⁹ Das Minimum liegt bei 1,6 Prozent Auslastungsrückgang und 5,2 Mio. Euro Verlust.

¹⁰ Dieses Ergebnis bezieht sich auf Kraftwerke mit Durchlaufkühlung, die das Kühlwasser wieder abführen. Bei Kraftwerken mit Kreislaufkühlung ergibt sich nach Weisz et al. (2013) nur ein Rückgang der mittleren Jahresproduktion um 0,07 Prozent.

CO_2 -Konzentration, Temperatur und Niederschlag können den Anbau von pflanzlichen Erzeugnissen zur Gewinnung von Energie beeinträchtigen (z.B. Holzpellets, Biodiesel und Biogas). CO_2 ist ein wichtiges Substrat für das Pflanzenwachstum. Da die aktuelle CO_2 -Konzentration bei den meisten landwirtschaftlich genutzten Pflanzen und forstwirtschaftlich genutzten Bäumen unterhalb des Optimums liegt, kann eine höhere Konzentration die Photosyntheserate stimulieren und damit den Ernteertrag um bis zu etwa 30% steigern (Weigel, 2011; Norby et al., 1999). Man spricht in diesem Zusammenhang von einem “ CO_2 -Düngeeffekt” (Kimball et al., 1993), der den negativen Auswirkungen des CO_2 -bedingten Klimawandels entgegenwirken könnte.¹¹ Bisher haben Feldversuche unter realistischen Bedingungen wegen Rückkopplungseffekten in der Pflanze mit Temperatur, Strahlung und Wasserversorgung geringere Erntezuwächse von bis zu 14% gezeigt (Manderscheid et al., 2009). Zudem verringern zu hohe Temperaturen auch den CO_2 -Düngeeffekt. Die Transpiration der Pflanzen ist auch vom CO_2 -Gehalt der Luft abhängig und kann somit die Wassernutzungseffizienz der Pflanzen steigern, was besonders im Hinblick auf die mit dem Klimawandel zunehmenden Trockenperioden einen positiven Effekt hat.

A.5.2. Windkraftwerke

Mit knapp der Versorgung von 10 Prozent des Netto-Stromverbrauchs im Jahre 2014 stellt Strom aus Windenergie die wichtigste Quelle erneuerbarer Energie in Deutschland dar (Fraunhofer, 2015). Die Erzeugung von Strom aus Windkraft hängt im Wesentlichen von den vorherrschenden Windgeschwindigkeiten ab. Ihre Höhe und Variabilität bestimmt dabei nicht nur über die Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen, sondern auch über die Versorgungssicherheit, da Windkraftanlagen im Gegensatz zu Wasserkraftanlagen nicht natürlich Energie speichern können (Schaeffer et al., 2012). Weisz et al. (2013) simulieren bis 2055 eine Zunahme Stromproduktion aus Windkraft um bis zu 3,2 Prozent. Diese Zunahme ergibt sich aus der prognostizierten Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe der Windräder.^{12,13} Der Effekt des Klimawandels auf die Windenergieproduktion ist bis dahin also eher gering. Zudem verweisen Weisz et al. (2013) darauf, dass die Ergebnisse aufgrund des datenaufwendigen Verfahrens nicht sehr robust sind, da die Prognosen der Klimamodelle bezüglich der Windgeschwindigkeit sehr unsicher sind. Nach dem Jahre 2050 rechnet der Weltklimarat für Kontinentaleuropa mit einem zunehmenden Windkraftpotential im Winter und einem abnehmenden

¹¹ Je nach Art der Photosynthese kann dieser Effekt jedoch sehr unterschiedlich ausfallen. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass C4-Pflanzen (wie Hirse, Mais, Zuckerrohr) bereits eine optimale CO_2 -Versorgung haben und deswegen kaum Ertragsgewinne zeigen. Die jedoch in Deutschland vorwiegend angebauten C3-Pflanzen (wie Soja, Reis, Weizen) profitieren vom CO_2 -Düngeeffekt.

¹² Die Studie verwendet das dynamische regionale Klimamodell CCLM.

¹³ Da die Energie des Windes sich nicht proportional zu der Windgeschwindigkeit verhält, sind Phasen mit unterdurchschnittlicher Windgeschwindigkeit besonders ertragsarm. Simulationen müssen zudem die Leistungskurve von Windturbinen beachten. Da Windkraftanlagen jedoch über eine vergleichsweise kurze Lebensdauer verfügen und sich schnell dem technischen Fortschritt anpassen können, prognostizieren Weisz et al. (2013) lediglich die tatsächlich verfügbare Windenergie.

Windkraftpotential im Sommer (IPCC, 2014b, S. 1271, S. 1282).

Gleichzeitig können jedoch bedingt durch den Klimawandel Starkwinde und Stürme zunehmen, die zur Abschaltung oder sogar zur Beschädigung von Windkraftanlagen führen können. Hier sind die Aussagen der Klimamodelle jedoch besonders unsicher (Weisz et al., 2013).

A.5.3. Solarkraftanlagen

Solarenergie lieferte im Jahre 2014 6,9 Prozent des Netto-Stromverbrauches in Deutschland und stellte somit nach Windkraft den zweitgrößte Quelle erneuerbarer Energie dar (Fraunhofer, 2015). Anteil am gesamten Stromverbrauch Verschiedene klimawandelbedingte Änderungen, wie Luftfeuchtigkeit, Bewölkung, Wolkencharakteristika können die Strahlungsintensität und damit die Solarstromerzeugung beeinflussen (Schaeffer et al., 2012). Weiter können auch extreme Wetterlagen (z.B. Sturm, Hagel) die Solaranlagen beschädigen. Zudem hat die Lufttemperatur einen Einfluss auf die Effizienz der Solaranlagen. Steigende Temperaturen senken die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen (PV).

A.5.4. Wasserkraftwerke

Der Anteil von Strom aus Wasserkraft am Netto-Stromverbrauch in Deutschland lag in den vergangenen Jahren konstant nahe bei 4 Prozent und stellt somit die am wenigsten genutzte Quelle erneuerbarer Energien dar. Sollten mit dem Klimawandel auch die Extremwetterlagen zunehmen (Trockenperioden, Starkniederschläge), dann könnten die resultierenden Hoch- und Niedrigwasser negative Folgen für Wasserkraftwerke haben. Wasserkraftanlagen an Speichern (z.B. Talsperren) sind auf den ersten Blick weniger anfällig für Änderungen in Niederschlag und Abfluss als Wasserkraftanlagen an Flussläufen (Lehner et al., 2005).¹⁴ Da jedoch die Laufwasserkraftanlagen unterhalb am Flusslauf der Wasserkraftanlagen an Speichern liegen, argumentieren Weisz et al. (2013), dass auch diese von deren Ausgleichswirkung profitieren und somit gleichzusetzen sind.

Andererseits ist jedoch ein verändertes Wasserkraftpotential durch insgesamt steigende oder verringerte Abflüsse denkbar. Der Weltklimarat geht insgesamt mit hoher Konfidenz von einem Rückgang der Produktion von Strom aus Wasserkraft für ganz Europa (ausgenommen Skandinavien) aus (IPCC, 2014b, S. 1271). Lehner et al. (2005) schätzen, dass das Wasserkraftpotential in Deutschland relativ stabil bleiben wird, sich in Südeuropa jedoch bis 2070 bedingt durch Trockenheit um 25 Prozent verringern wird.¹⁵ Weisz et al. (2013) berechnen für Deutschland, je nach Szenario, eine Reduktion der Wasserkraft-Stromproduktion zwischen 3 Prozent und 24 Prozent im Jahresmittel. Als Ursache geben Weisz et al. (2013) die durch den Klimawandel verringerten Abflüsse an, jedoch fallen die Ergebnisse regional sehr unterschiedlich aus. Der Rückgang ist im Osten und besonders im Nordosten viel stärker als im (Nord-)Westen.

¹⁴ Pumpspeicherkraftwerke sind hingegen kaum von klimawandelbedingten Veränderungen betroffen.

¹⁵ In Skandinavien und Nord-Russland rechnen Lehner et al. (2005) mit einer Zunahme des Wasserkraftpotentials.

A.5.5. Sonstige Auswirkungen

Der Klimawandel kann zudem Auswirkungen auf die Förderung und Verarbeitung von fossilen Rohstoffen haben. Häufigere extreme Wetterlagen können die Offshore-Förderung von Öl und Gas erschweren. Eine geringe Wasserverfügbarkeit kann die Arbeit von Öl-Raffinerien erschweren, da diese einen hohen Wasserverbrauch haben.

Kraftwerke, die Strom aus Wellenkraft gewinnen, sind von der potentiellen Änderung der Wind- und damit Wellenverhältnisse betroffen.

Die Nachfrage nach Strom könnte in Hitzeperioden, aufgrund der zumeist elektrisch betriebenen Kühlung und Klimatisierung, steigen und zu Kapazitätsengpässen führen. Bei wärmeren Wintern hingegen könnte die Energienachfrage aufgrund des verminderten Heizbedarfs sinken. Isaac & Van Vuuren (2009) berechnen unter Berücksichtigung beider Effekte für Europa bis zum Jahre 2100 insgesamt einen Nachfragerückgang nach Strom.¹⁶ Eskeland & Mideksa (2009) berechnen für Europa einen klimawandelbedingten Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Kühlgradtage bis zum Jahre 2100 von 56 auf 133 und eine Abnahme der durchschnittlichen jährlichen Heizgradtage von 3022 auf 2150.¹⁷ Die Anzahl der Heiz-/Kühlgradtage errechnet sich aus der Summe der Differenzen zwischen einem definierten Komfortbereich (18-22°C) und der Tagestemperaturen unterhalb/oberhalb dieses Bereiches. Der resultierende Nettoeffekt des veränderten Energiebedarfs wird auf Basis der EU-Ergebnisse auf Deutschland übertragen ebenfalls negativ geschätzt.¹⁸

Schließlich, sind zudem Schäden an der Netzwerkinfrastruktur durch vermehrte Stürme und Extremwetterlagen, sowie Übertragungsverluste durch erhöhte Temperaturen, denkbar. Der Literaturstand in diesem Gebiet ist jedoch besonders für Deutschland sehr begrenzt (siehe Mideksa & Kallbekken, 2010).

A.6. Tourismus

Der Tourismus in Deutschland induziert direkt und indirekt etwa 10% der Bruttowertschöpfung und stellt somit einen bedeutenden Wirtschaftszweig dar (BMW, 2012). Besonders der Wintersporttourismus gilt als vulnerabel für den Klimawandel (Zebisch et al., 2005). Mit steigen der Jahresdurchschnittstemperatur steigt auch die Höhe ab welcher Skigebiete als schneesicher gelten. Es ist damit zu rechnen, dass der Wintersporttourismus daher in höhere Lagen ausweicht, welches die Ökosysteme in den Hochlagen zusätzlich belastet. Das Abschmelzen von Permafrost bedroht zudem die technische Infrastruktur, wie Lifte und Verkehrswege (Liebig, 2007). Der Weltklimarat rechnet mit mittlerer Konfidenz damit, dass für Skigebiete in niedrigen Lagen (z. B. Mittelgebirge), bereits vor dem Jahr 2050 die Auswirkungen des Klimawandels signifikant sein werden (IPCC, 2014b, S. 1271).

¹⁶ Es wird ein Klimaszenario mit einem Temperaturanstieg von 3,7°C bis 2100 verwendet.

¹⁷ Verwendet wird das A1B Szenario des IPCC mit schnellem wirtschaftlichem Wachstum und Technologie-Mix.

¹⁸ Held et al. (2012) weisen jedoch darauf hin, dass die Unterschiede bezüglich der Heiztechnologien in Europa eine solche übertragende Berechnung mit den EU-Panel-Daten nicht zulassen.

Während der Städtetourismus im Sommer durch Extremereignisse wie Hochwasser oder Hitzewellen beeinträchtigt werden könnte, wird Sommertourismus insgesamt in Deutschland hingegen durch höhere Lufttemperaturen, Wassertemperaturen, Sonnenscheindauer und somit mit einer verlängerten Saison begünstigt Zebisch et al. (2005).

Insgesamt rechnet der Weltklimarat damit, dass der Tourismus in Kontinentaleuropa nach dem Jahre 2050 durch den Klimawandel begünstigt wird (IPCC, 2014b, S. 1271). Auch Amelung & Moreno (2012) simulieren, dass für Deutschland quer über alle Szenarien hinweg ein positiver Effekt resultieren wird.

B. Eigenvektormethode nach AHP zur Berechnung von Kriteriengewichten mittels paarweisen Vergleichen

Bei der Analytic Hierarchy Process (AHP) Methode nach Saaty (1977, 1980) werden die Entscheidungskriterien paarweise bezüglich ihrer relativen Wichtigkeit miteinander verglichen, so dass eine Matrix A mit den relativen Bewertungen für alle Kriterien C_1, \dots, C_k aufgestellt werden kann.

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_k \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_i \\ \vdots \\ C_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{ik} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{k1} & \cdots & a_{kj} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Je höher dabei eine Bewertung a_{ij} desto wichtiger ist das Kriterium C_i im Vergleich zu Kriterium C_j . Sind diese Bewertungen reziprok (d.h. $a_{ij} = 1/a_{ji}$), dann lassen sich aus dieser Matrix A die allgemeinen Gewichte der Kriterien herleiten, die sich in einer relativen Gewichtungsmatrix W wie folgt zu einander verhalten.

$$W = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_k \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_i \\ \vdots \\ C_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \cdots & \frac{w_1}{w_j} & \cdots & \frac{w_1}{w_k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_i}{w_1} & \cdots & \frac{w_i}{w_j} & \cdots & \frac{w_i}{w_k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_k}{w_1} & \cdots & \frac{w_k}{w_j} & \cdots & \frac{w_k}{w_k} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Multipliziert man W mit dem Vektor w , dann erhält man

$$W \cdot w = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_k \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_i \\ \vdots \\ C_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \cdots & \frac{w_1}{w_j} & \cdots & \frac{w_1}{w_k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_i}{w_1} & \cdots & \frac{w_i}{w_j} & \cdots & \frac{w_i}{w_k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_k}{w_1} & \cdots & \frac{w_k}{w_j} & \cdots & \frac{w_k}{w_k} \end{pmatrix} \end{matrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_j \\ \vdots \\ w_k \end{pmatrix} = k \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_j \\ \vdots \\ w_k \end{pmatrix} = k \cdot w$$

Ist W bekannt, kann man w durch die Lösung folgender Gleichung berechnen.

$$(W - k \cdot I) \cdot w = 0.$$

Diese Gleichung hat eine nicht-triviale d. h. von Null verschiedene Lösung, wenn k ein Eigenwert von W ist. W ist kardinal konsistent, da $\frac{w_i}{w_j} = \frac{w_i}{w_c} / \frac{w_c}{w_j}$. Somit können aus der ersten Zeile alle weiteren Verhältnisse berechnet werden. Da alle Zeilen Vielfache voneinander sind, hat W einen Rang von Eins ($rg(W) = 1$) und alle ihre Eigenwerte $\lambda_c, c = 1, \dots, k$ sind Null bis auf einen, der mit λ_{max} bezeichnet wird. Dieser entspricht $\lambda_{max} = k$, da $\sum_{c=1}^k \lambda_c = Spur(W) = k$ und $\lambda_c = 0$ für $\lambda_c \neq \lambda_{max}$. Es gibt also definitiv eine von Null verschiedene Lösung für w und diese ist eine Vielfache einer jeden Spalte von W . Definiert man w als einen normalisierten Gewichtungsvektor, sodass $\sum_{i=1}^k w_i = 1$, dann lässt sich aus jeder Spalte die eindeutige Lösung berechnen. Zum Beispiel kann man über die Summe der Elemente der ersten Spalte $\sum_{i=1}^k \frac{w_i}{w_1} = \frac{1}{w_1}$ zunächst w_1 berechnen und damit auch alle weiteren Gewichte aus $\frac{w_i}{w_1}$. Die Normalisierung jeder Spalte bringt das gleiche Ergebnis, ebenso wie der normalisierte Eigenvektor von W .

In der Praxis ist meistens jedoch weder W bekannt noch sind die paarweisen Vergleiche nach menschlicher Einschätzung kardinal konsistent, d. h. die Bedingung $a_{ij} = a_{ic}/a_{jc}$ wird nicht immer erfüllt. Ersetzt man einfach A für W , dann hat die Lösung der Gleichung $(A - k \cdot I) \times w = 0$ keine eindeutige Lösung. Saaty (1977) zeigt jedoch, dass dennoch der *Eigenvektor* mit den Eigenwert λ_{max} der Matrix A gut als Näherung für w verwendet werden kann, wenn die Inkonsistenz nicht zu hoch ist. Nach Meinung von Saaty ist ein gewisser Grad an Inkonsistenz in den Bewertungen sogar wichtig und nötig, da im Bewertungsprozess neues Wissen entsteht, welches die Präferenzordnung ändern kann.¹⁹

Gesucht wird der Eigenvektor, der folgende Relation erfüllt:

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w.$$

¹⁹ „The reason is that inconsistency itself is important, for without it new knowledge which changes preference order cannot be admitted. Assuming all knowledge to be consistent contradicts experience which requires continued adjustment in understanding. (Saaty, 1987, S. 172).“ „A modicum of inconsistency is necessary to change our mind about old relations when we learn new things. (Saaty, 2005, S. 352)“ „[...]we need to allow inconsistent judgments for good reasons. In sports, team A beats team B, team B beats team C, but team C beats team A. How would we admit such an occurrence in our attempt to explain the real world if we do not allow inconsistency? So far we have legislated inconsistency, which is natural in making judgments, by assuming axiomatically that it should not exist particularly with regard to transitivity! (Saaty, 2005, S. 353)“

Tabelle B.1.: Random Consistency Index (R.I.) nach Anzahl der Kriterien

Anzahl der Kriterien	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Quelle: Saaty (1987, S. 171)

Man erhält diesen Eigenvektor w indem am folgende Gleichung löst:

$$(A - \lambda_{max} \cdot I) \cdot w = 0.$$

Um w als Gewichtungsvektor zu verwenden, sodass $\sum_{i=1}^k w_i = 1$ gilt, muss dieser vorher noch normalisiert werden.

Saaty (1977) benutzt den Umstand, dass selbst größere Abweichungen von der Konsistenzbedingung nur kleine Abweichungen in den zuvor genannten Eigenwerten bewirken. Je größer der Rang von A desto weniger signifikant sind kleinere Perturbationen oder desto weniger große Perturbationen gibt es für den Eigenvektor. Der Eigenvektor ist dabei die einzige Lösung, die alle Dominanzinformationen einer inkonsistenten Matrix erfasst (Saaty, 1987). Insbesondere zeigt Saaty (1977), dass die ordinale Konsistenz bei kardinaler Inkonsistenz erhalten bleibt, d. h. wenn $a_{ic} \geq a_{jc}$ dann ist auch $w_i \geq w_j$ für $c = 1, \dots, k$. Gerade die Möglichkeit zur Inkonsistenz stellt eine Stärke der AHP Methode dar.

Der Grad der Inkonsistenz der subjektiven Wahrnehmung in den paarweisen Vergleichen kann mittels der Abweichung von λ_{max} , des größten Eigenwertes der Matrix A , von der Anzahl der Kriterien k gemessen werden. Saaty (1977) führte dafür den consistency index (C.I.) ein:

$$C.I. = \frac{(\lambda_{max} - k)}{k - 1}.$$

Der von Saaty (1980) für ein sicheres Ergebnis vorgeschlagene Grenzwert von 0,1 wird heute gemeinhin für C.I. verwendet (Saaty, 2005; Tzeng & Huang, 2011; Linkov & Moberg, 2011).

Da jedoch auch zufällige reziproke Matrizen je nach Größe eine gewisse Konsistenz gemäß C.I. Maß aufweisen, führte Saaty (1977, 1980) zudem das consistency ratio C.R als Prüfgröße ein:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

wobei $R.I.$ den random consistency index bezeichnet, der aus einer großen Stichprobe (500) zufällig generierter reziproker Matrizen mit Elementen in einer Skala von 1/9, 1/8,...,1,...,8,9 berechnet wurde. Je nach Größe dieser Matrizen oder Anzahl der Kriterien wird R.I., wie in Tabelle B.1 dargestellt, gewählt. Je höher das C.R. desto größer die Konsistenz der paarweisen Vergleiche.

Literaturverzeichnis

- Abbott, M. (2001). Is the security of electricity supply a public good? *The Electricity Journal*, 14(7), 31–33.
- Adger, W. N., Agrawala, S., Mirza, M. M. Q., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B., & Takahashi, K. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, chapter 17: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity, (pp. 717–743). Cambridge University Press.
- Adger, W. N. & Kelly, P. M. (1999). Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3-4), 253–266.
- Aerts, J. C., Botzen, W., Veen, A., Krywkow, J., & Werners, S. (2008). Dealing with uncertainty in flood management through diversification. *Ecology and Society*, 13(1), 1–17.
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., de Cian, E., Lanzi, E., Andersen, M. S., Hansen, M. S., Carstensen, J., Kronvang, B., Andersen, H. E., et al. (2011). Adapting to climate change: costs, benefits, and modelling approaches. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 5(3), 245–284.
- Altvater, S., de Block, D., Bouwma, I., Dworak, T., Frelih-Larsen, A., Gorlach, B., Hermeling, C., Klostermann, J., König, M., Leitner, M., Marinova, N., McCallum, S., Naumann, S., Osberghaus, D., Prutsch, A., Reif, C., Sandt, K. v. d., Swart, R., & Troltzsch, J. (2012). Adaptation measures in the eu: Policies, costs, and economic assessment ('climate proofing' of key eu policies).
- Amelung, B. & Moreno, A. (2012). Costing the impact of climate change on tourism in Europe: results of the peseta project. *Climatic Change*, 112(1), 83–100.
- Analitis, A., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M., Forsberg, B., Bisanti, L., Kirchmayer, U., Ballester, F., Cadum, E., Goodman, P., et al. (2008). Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the phewe project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12), 1397–1408.
- Anders, S., Beck, W., Lux, W., Müller, J., Fischer, R., König, A., Küppers, J., Thoroe, C., Kätzel, R., Löffler, S., et al. (2004). Auswirkung der Trockenheit 2003 auf Waldzustand und Waldbau. *Eberswalde: Inst Forstököl Walderfassung*, 109.
- Arrow, K. J. (1963). Uncertainty and the welfare economics of medical care. *The American Economic Review*, 53(5), 941–973.
- Åström, C., Orru, H., Rocklöv, J., Strandberg, G., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2013). Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment. *BMJ open*, 3(1), e001842.

- Atkinson, A. & Stiglitz, J. (1980). *Lectures on Public Economics*. Economics Handbook Series. McGraw-Hill Book Company.
- Bankes, S. (1993). Exploratory modeling for policy analysis. *Operations Research*, 41(3), 435–449.
- Barrett, S. (2005). The theory of international environmental agreements. *Handbook of environmental economics*, 3, 1457–1516.
- Barro, R. J. & Gordon, D. B. (1983). Rules, discretion and reputation in a model of monetary policy. *Journal of Monetary Economics*, 12(1), 101–121.
- Bartels, H., Kolokotronis, V., & Zimmermann, L. (2005). Klimaentwicklung und Hochwasserschutz. *Klimastatusbericht*, (pp. 33–43).
- Bayern (2009). Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS). Bayerische Staatsregierung und Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit.
- Beck, S., Kuhlicke, C., & UFZ, C. G. (2009). Climate policy integration, coherence, and governance in Germany. *Helmholtz Zentrum Für Umweltforschung, UFZ-Bericht*.
- Beierle, T. C. (2002). The quality of stakeholder-based decisions. *Risk analysis*, 22(4), 739–749.
- Bell, M. L., Hobbs, B. F., & Ellis, H. (2003). The use of multi-criteria decision-making methods in the integrated assessment of climate change: implications for ia practitioners. *Socio-Economic planning sciences*, 37(4), 289–316.
- Belton, V. & Gear, T. (1983). On a short-coming of saaty’s method of analytic hierarchies. *Omega*, 11(3), 228–230.
- Belton, V. & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer US.
- Benayoun, R., Roy, B., & Sussman, N. (1966). Manual de reference du programme electre. *Note de synthese et Formation*, 25.
- Berlin (2011). Stadtentwicklungsplan Klima - Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Berlin - Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Berlin (2016). Berliner energiewendegesetz (ewg bln) vom 22. märz 2016.
- Best, M. J. & Grauer, R. R. (1991). Sensitivity analysis for mean-variance portfolio problems. *Management Science*, 37(8), 980–989.
- Bierhoff, H. (2006). *Sozialpsychologie: ein Lehrbuch*. Kohlhammer.
- Bindi, M. & Olesen, J. E. (2011). The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, 11(1), 151–158.
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–654.
- Blobel, D., Tröltzsch, J., Peter, M., Bertschmann, D., & Lückge, H. (2016). Vorschlag für einen policy mix für den aktionsplan anpassung an den klimawandel ii. Ecologic Institut, Berlin und INFRAS, Zürich im Auftrag des Umweltbundesamt, Dessau.

- Blyth, W., Bradley, R., Bunn, D., Clarke, C., Wilson, T., & Yang, M. (2007). Investment risks under uncertain climate change policy. *Energy policy*, 35(11), 5766–5773.
- BMU (2003). Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMWi (2012). Wirtschaftsfaktor tourismus deutschland - kennzahlen einer umsatzstarken querschnittsbranche. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Botzen, W., Aerts, J., & van den Bergh, J. C. (2009). Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. *Ecological Economics*, 68(8), 2265–2277.
- Bouyssou, D. (2000). *Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective*. International Series in Operations Research & Management Science. Springer US.
- Boxall, A., Hardy, A., Beulke, S., Boucard, T., Burgin, L., Falloon, P. D., Haygarth, P. M., Hutchinson, T., Kovats, R. S., Leonardi, G., et al. (2008). Impacts of climate change on indirect human exposure to pathogens and chemicals from agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 117(4), 508–514.
- Brandenburg (2008). Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV).
- Brans, J. P. & Mareschal, B. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, chapter 5 PROMETHEE Methods, (pp. 163–196). International Series in Operations Research & Management Science. Springer.
- Brans, J. P., Mareschal, B., & Vincke, P. (1984). Promethee: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. ULB–Universite Libre de Bruxelles.
- Bremen (2012). Fachkonzept Klimawandel in Bremen - Folgen und Anpassung. Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen.
- Bremen (2015). Bremisches Klimaschutz- und Energiegesetz (BremKEG) - Bremische Bürgerschaft (Landtag) 24. März 2015.
- Brennan, G. & Buchanan, J. M. (1980). *The power to tax: Analytic foundations of a fiscal constitution*. Cambridge University Press.
- Brouwer, S., Rayner, T., & Huitema, D. (2013). Mainstreaming climate policy. the case of climate adaptation and the implementation of eu water policy. *Environment and Planning C*, 31(1), 134–153.
- Buchanan, J. M. (1975). *Altruism, Morality, and Economic Theory*, chapter The Samaritans Dilemma, (pp. 71–85). Sage Foundation, New York.
- Bundesregierung, D. (2008). Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Verfügbar unter: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php> [Letzter Zugriff am 02.12. 2012].
- Bundesregierung, D. (2011). Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen. URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/47641.php>.

- Bundesregierung, D. (2015). Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. URL: <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/fortschrittsbericht-zur-klimaanpassung/>.
- Carrillo, J. D. & Mariotti, T. (2000). Strategic ignorance as a self-disciplining device. *The Review of Economic Studies*, 67(3), 529–544.
- Chmielewski, F.-M. (2007). Folgen des Klimawandels für die Land-und Forstwirtschaft. *Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke, Ausblicke Potsdam*, (pp. 75–85).
- Cimato, F. & Mullan, M. (2010). Adapting to climate change: analysing the role of government. *Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London, UK*.
- Committee on Climate Change (2008). Building a low-carbon economy - the uk's contribution to tackling climate change. Committee on Climate Change.
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229–263.
- Crowe, K. A. & Parker, W. H. (2008). Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. *Climatic Change*, 89(3-4), 355–370.
- Dehnhardt, A. (2012). Die Anwendung von Kosten-Nutzen-Analysen im wasserwirtschaftlichen Verwaltungshandeln - eine empirische Untersuchung im Kontext der EG-Wasserrahmenrichtlinie. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 35(3), 283.
- Dessai, S. & Hulme, M. (2007). Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the east of England. *Global Environmental Change*, 17(1), 59–72.
- Deutsche Meteorologische Gesellschaft (2007). Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft zur Klimaproblematik, 09.10.2007.
- Deutscher Bundestag (2008). Gesetz zur Neufassung des Raumordnungsgesetzes und zur Änderung anderer Vorschriften (GeROG) beschlossen am 22. Dezember 2008, Inkrafttreten am 30. Juni 2009. *Bundesgesetzblatt (BGBl.) vom 30. Dezember 2008*, Teil I, Nr. 65, 2986.
- Deutscher Bundestag (2009). Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31. Juli 2009. *Bundesgesetzblatt (BGBl.) vom 6. August 2009*, Teil I, Nr. 51, 2585.
- Deutscher Bundestag (2013). Ausmaß der Vergabe von Aufträgen der Bundesregierung an externe Dritte. *Drucksache 17/14647*.
- Dixit, A. & Pindyck, R. (1994). *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press.
- Dunkelberg, E., Hirschl, B., & Hoffman, E. (2011). Anpassung an den klimawandel - energie-wirtschaft. Umweltbundesamt.
- Eisenberg, D. & Warner, K. E. (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *American Journal of Public Health*, 95(1), 120–124.
- Eisenführ, F., Weber, M., & Langer, T. (2010). *Rational decision making*. Springer Heidelberg.

- Eisenmann, J. & Leykauf, G. (2003). *Betonfahrbahnen*. Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Wiley.
- Eskeland, G. S. & Mideksa, T. K. (2009). Climate change adaptation and residential electricity demand in Europe. *Working Paper - Center for International Climate and Environmental Research, Oslo*.
- EU-Kommission (2008). Communication from the commission to the European council - a European economic recovery plan. *COM (2008)*, 0800 final(4).
- EU-Kommission (2009). White paper, adapting to climate change: Towards a European framework for action. *COM (2009)*, 147(4).
- EU-Kommission (2013a). An EU Strategy on adaptation to climate change. *COM (2013)*, 216.
- EU-Kommission (2013b). Green paper on the insurance of natural and man-made disasters. *COM (2013)*, 213.
- Eucken, W. (1952). *Grundsätze der Wirtschaftspolitik*. Hand- und Lehrbücher aus dem Gebiet der Sozialwissenschaften. Francke.
- Fankhauser, S., Smith, J. B., & Tol, R. S. (1999). Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions. *Ecological Economics*, 30(1), 67–78.
- Figueira, J. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, chapter 4 ELECTRE Methods, (pp. 133–162). International Series in Operations Research & Management Science. Springer.
- Figueira, J., De Smet, Y., & Brans, J.-P. (2004). MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and promethee CLUSTER. SMG, Université Libre de Bruxelles.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. International Series in Operations Research & Management Science. Springer.
- Finus, M. (2000). *Game theory and international environmental co-operation: a survey with an application to the Kyoto-protocol*. Fondazione Eni Enrico Mattei Milan.
- Förster, H. & Lilliestam, J. (2010). Modeling thermoelectric power generation in view of climate change. *Regional Environmental Change*, 10(4), 327–338.
- Fraunhofer, I. (2015). Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. *Fassung vom 19.5.2015*.
- Friedman, J. H. & Fisher, N. I. (1999). Bump hunting in high-dimensional data. *Statistics and Computing*, 9(2), 123–143.
- Fritsch, M. (2011). *Marktversagen und Wirtschaftspolitik: Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns*. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Vahlen Franz GmbH.
- Füssel, H.-M. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science*, 2(2), 265–275.

- Gamper, C. & Turcanu, C. (2007). On the governmental use of multi-criteria analysis. *Ecological Economics*, 62(2), 298–307.
- Gardiner, B., Blennow, K., Carnus, J.-M., Fleischer, P., Ingemarson, F., Landmann, G., Lindner, M., Marzano, M., Nicoll, B., Orazio, C., Peyron, J. L., Reviron, M. P., Schelhaas, M. J., Schuck, A., Spielmann, M., & Usbeck, T. (2010). Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts. final report to European commission - dg environment. European Forest Institute.
- Gawel, E. & Heuson, C. (2011). Der Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel - eine ökonomische Bewertung. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 12(7), 51–56.
- Gawel, E. & Heuson, C. (2012). Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung. *Wirtschaftsdienst*, 92(7), 480–487.
- Gawel, E., Heuson, C., & Lehmann, P. (2012). Efficient public adaptation to climate change: An investigation of drivers and barriers from a public choice perspective. UFZ Discussion Papers 14/2012. Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ), Division of Social Sciences (ÖKUS).
- Geddes, B. (1994). *Politician's Dilemma: Building State Capacity in Latin America*. California series on social choice and political economy. University of California Press.
- Gorman, W. M. (1968). Conditions for additive separability. *Econometrica*, 36(3/4), 605–609.
- Grothmann, T. & Patt, A. (2005). Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change. *Global Environmental Change*, 15(3), 199–213.
- Groves, D. G. (2006). New methods for identifying robust long-term water resources management strategies for california.
- Groves, D. G., Fischbach, J. R., Bloom, E., Knopman, D., & Keefe, R. (2013). *Adapting to a changing Colorado River*. RAND corporation.
- Groves, D. G. & Lempert, R. J. (2007). A new analytic method for finding policy-relevant scenarios. *Global Environmental Change*, 17(1), 73–85.
- Grunewald, J., Habedank, B., Hartelt, K., Kampen, H., Kimmig, P., Maier, W. A., Naucke, T., Oehme, R., Vollmer, A., Schöler, A., et al. (2001). Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. *Umweltforschungsplan (UFOPLAN 200 61 218/11) des BM UmweltNaturschutz und Reaktorsicherheit, Prague*.
- Gupta, J. & Van der Grijp, N. (2010). *Mainstreaming climate change in development cooperation: Theory, practice and implications for the European Union*. Cambridge University Press.
- Hall, J. W., Lempert, R. J., Keller, K., Hackbarth, A., Mijere, C., & McInerney, D. J. (2012). Robust climate policies under uncertainty: A comparison of robust decision making and info-gap methods. *Risk Analysis*, 32(10), 1657–1672.

- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19(2), 240–247.
- Hallegatte, S., Lecocq, F., & De Perthuis, C. (2011). Designing climate change adaptation policies: An economic framework. *World Bank Policy Research Working Paper Series*, (5568).
- Hallegatte, S., Shah, A., Lempert, R., Brown, C., & Gill, S. (2012). *Investment decision making under deep uncertainty application to climate change*. Policy research working paper. Washington, DC: World Bank, Sustainable Development Network, Office of the Chief Economist.
- Hamburg (2013). Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft - Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel - Drucksache 20/8492 . Senat der Freien Hansestadt Hamburg.
- Harberger, A. C. (1984). Basic needs versus distributional weights in social cost-benefit analysis. *Economic Development and Cultural Change*, (pp. 455–474).
- Held, H., Mennel, T., Menny, Osberghaus, D., & Werner, U. (2012). Anpassungs- und vermeidungsstrategien: Eine marktsegmentstudie für den deutschen versicherungssektor. projekt im auftrag des gesamtverbands der deutschen versicherungswirtschaft (gdv). PIK, ZEW, KIT-Lehrstuhl für Versicherungswissenschaft.
- Hennegriff, W., Kolokotronis, V., Weber, H., & Bartels, H. (2006). Klimawandel und Hochwasser. *Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz, KA-Abwasser, Abfall*, 53(8), 770–779.
- Hessen (2012). Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen (Hessische Anpassungsstrategie) . Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Heuson, C., Gawel, E., Gebhardt, O., Hansjürgens, B., Lehmann, P., Meyer, V., & Schwarze, R. (2012a). Ökonomische grundfragen der klimaangepassung: Umriss eines neuen forschungsprogramms. UFZ-Bericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig.
- Heuson, C., Gawel, E., Gebhardt, O., Hansjürgens, B., Lehmann, P., Meyer, V., & Schwarze, R. (2012b). Ökonomische Grundfragen der Klimaangepassung: Umriss eines neuen Forschungsprogramms. UFZ-Bericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig.
- Heuson, C., Gawel, E., & Lehmann, P. (2014). *Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation*, chapter 2. State of the art on the economics of adaptation, (pp. 27–55). Routledge international handbooks. Routledge.
- Hey, C. (2002). Why does environmental policy integration fail? the case of environmental taxation for heavy goods vehicles. *Environmental policy integration: Greening sectoral policies in Europe*, (pp. 127–152).
- Hirschberg, M., Kennel, M., Menzel, A., & Raspe, S. (2003). Klimaänderung unter forstlichem Aspekt-was ändert sich für den Wald. *LWF aktuell*, 37, 8.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578–3594.

- Huq, S., Reid, H., Konate, M., Rahman, A., Sokona, Y., & Crick, F. (2004). Mainstreaming adaptation to climate change in least developed countries (ldcs). *Climate Policy*, 4(1), 25–43.
- IMA Anpassungsstrategie (2015). Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungs Strategie an den Klimawandel. *Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2014c). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Isaac, M. & Van Vuuren, D. P. (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. *Energy Policy*, 37(2), 507–521.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., & Yiou, P. (2014). Euro-cordex: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578.
- Jendritzky, G. (2007). Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In *Der Klimawandel-Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel)*: Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut.
- Jonkeren, O., Rietveld, P., & van Ommeren, J. (2007). Climate change and inland waterway transport: welfare effects of low water levels on the river rhine. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 41(3), 387–411.
- Jordan, A. & Lenschow, A. (2010). Environmental policy integration: a state of the art review. *Environmental Policy and Governance*, 20(3), 147–158.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American Psychologist*, 39(4), 341.
- Kaplow, L. (1991). Incentives and government relief for risk. *Journal of Risk and Uncertainty*, 4(2), 167–175.

- Keeney, R. & Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. Wiley series in probability and mathematical statistics. Applied probability and statistics. Cambridge University Press.
- Kelly, P. M. & Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, 47(4), 325–352.
- Kimball, B., Mauney, J., Nakayama, F., & Idso, S. (1993). Effects of elevated CO₂ and climate variables on plants. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48(1), 9–14.
- Klein, R. J., Schipper, E. L. F., & Dessai, S. (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental Science & Policy*, 8(6), 579–588.
- Klein, R. J. & Tol, R. (1997). Adaptation to climate change: options and technologies. *Institute for Environmental Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam*.
- Klump, R. (2011). *Wirtschaftspolitik: Instrumente, Ziele und Institutionen*. Pearson Studium - Economic VWL. Pearson Studium.
- Knight, F. H. (1921). Risk, uncertainty and profit. *New York: Hart, Schaffner and Marx*.
- Koetse, M. J. & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205–221.
- Kok, M. & De Coninck, H. (2007). Widening the scope of policies to address climate change: directions for mainstreaming. *Environmental Science & Policy*, 10(7), 587–599.
- König, T., Rieger, E., & Schmitt, H. (1996). *Das europäische Mehrebenensystem*. Mannheimer Jahrbuch für europäische Sozialforschung. Campus.
- Konrad, K. A. & Thum, M. (2014). The role of economic policy in climate change adaptation. *CESifo Economic Studies*, 60(1), 32–61.
- Koppe, C., Jendritzky, G., & Pfaff, G. (2003). Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. *DWD Klimastatusbericht*, 2003, 152–162.
- Korn, R. (2014). *Moderne Finanzmathematik–Theorie und praktische Anwendung*. Springer-Verlag.
- Kovats, R. S. & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 41–55.
- Kunreuther, H. (1996). Mitigating disaster losses through insurance. *Journal of risk and Uncertainty*, 12(2-3), 171–187.
- Kunreuther, H., Novemsky, N., & Kahneman, D. (2001). Making low probabilities useful. *Journal of Risk and Uncertainty*, 23(2), 103–120.
- Kydland, F. E. & Prescott, E. C. (1977). Rules rather than discretion: The inconsistency of optimal plans. *The Journal of Political Economy*, 85(3), 473–491.

- LABO (2010). Klimawandel - Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes – Positionspapier. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden.
- Laibson, D. (1997). Golden eggs and hyperbolic discounting. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), 443–478.
- Laux, H., Gillenkirch, R. M., & Schenk-Mathes, H. (2012). *Entscheidungstheorie*. Springer-Verlag.
- LAWA (2010). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen – Strategiepapier. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.
- Lehner, B., Czisch, G., & Vassolo, S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy*, 33(7), 839–855.
- Lemonsu, A., Kounkou-Arnaud, R., Desplat, J., Salagnac, J.-L., & Masson, V. (2013). Evolution of the parisian urban climate under a global changing climate. *Climatic change*, 116(3-4), 679–692.
- Lempert, R. (2003). *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*. RAND Corporation.
- Lempert, R., Kalra, N., Peyraud, S., Mao, Z., Tan, S. B., Cira, D., & Lotsch, A. (2013). Ensuring robust flood risk management in ho chi minh city. *World Bank Policy Research working paper*, (6465).
- Lempert, R. J. & Collins, M. T. (2007). Managing the risk of uncertain threshold responses: comparison of robust, optimum, and precautionary approaches. *Risk analysis*, 27(4), 1009–1026.
- Lempert, R. J. & Groves, D. G. (2010). Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 960–974.
- Lempert, R. J., Groves, D. G., Popper, S. W., & Bankes, S. C. (2006). A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science*, 52(4), 514–528.
- Lempert, R. J. & Schlesinger, M. E. (2000). Robust strategies for abating climate change. *Climatic Change*, 45(3), 387–401.
- Leung, K., Tong, K.-K., & Lind, E. A. (2007). Realpolitik versus fair process: Moderating effects of group identification on acceptance of political decisions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92(3), 476.
- Leventhal, G. (1980). What should be done with equity theory? In K. Gergen, M. Greenberg, & R. Willis (Eds.), *Social Exchange* (pp. 27–55). Springer US.
- Liebig, A. (2007). Klimawandel in den alpen: Fakten, folgen, anpassung. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Lind, E. A. & Tyler, T. R. (1988). *The social psychology of procedural justice*. Plenum Publishing Corporation.

- Linkov, I. & Moberg, E. (2011). *Multi-criteria decision analysis: environmental applications and case studies*. CRC Press.
- Linnerud, K., Mideksa, T. K., & Eskeland, G. S. (2011). The impact of climate change on nuclear power supply. *Energy Journal*, 32(1), 149–168.
- Mahammadzadeh, M., Chrischilles, E., & Biebeler, H. (2013). Klimaanpassung in Unternehmen und Kommunen–Betroffenheiten, Verletzlichkeiten und Anpassungsbedarf. *Institut der deutschen Wirtschaft Köln – Forschungsberichte*, 83.
- Manderscheid, R., Pacholski, A., Frühauf, C., & Weigel, H.-J. (2009). Effects of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth and yield of winter barley cultivated in a crop rotation. *Field Crops Research*, 110(3), 185–196.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91.
- Massey, E. & Huitema, D. (2013a). The emergence of climate change adaptation as a policy field: the case of England. *Regional Environmental Change*, (pp. 1–12).
- Massey, E. & Huitema, D. (2013b). The emergence of climate change adaptation as a policy field: the case of England. *Regional Environmental Change*, (pp. 1–12).
- McDonald, R. & Siegel, D. (1986). The value of waiting to invest. *The Quarterly Journal of Economics*, (pp. 707–728).
- Mecklenburg-Vorpommern (2012). Maßnahmenkonzept zur Anpassung der Wälder Mecklenburg-Vorpommerns an den Klimawandel. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz M-V (LU).
- Mendelsohn, R. (2000). Efficient adaptation to climate change. *Climatic Change*, 45(3-4), 583–600.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S., & Züst, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10), 1969–1976.
- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, (pp. 141–183).
- Metroeconomica (2004). Costing the impacts of climate change in the uk - implementation report. UK Climate Impacts Programme (UKCIP).
- Mickwitz, P., Aix, F., Beck, S., Carss, D., Ferrand, N., Görg, C., Jensen, A., Kivimaa, P., Kuhli-cke, C., Kuindersma, W., et al. (2009). *Climate policy integration, coherence and governance*, volume 2. Partnership for European Environmental Research Helsinki.
- Mideksa, T. K. & Kallbekken, S. (2010). The impact of climate change on the electricity market: A review. *Energy Policy*, 38(7), 3579–3585.
- Migué, J.-L., Belanger, G., & Niskanen, W. A. (1974). Toward a general theory of managerial discretion. *Public choice*, 17(1), 27–47.

- Mills, E. (2005). Insurance in a climate of change. *Science*, 309(5737), 1040–1044.
- Molitor, B. (2006). *Wirtschaftspolitik*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Mooij, W. M., Janse, J., Domis, L. D. S., Hülsmann, S., & Ibelings, B. W. (2007). Predicting the effect of climate change on temperate shallow lakes with the ecosystem model PCLake. In *Shallow Lakes in a Changing World* (pp. 443–454). Springer.
- Nassopoulos, H., Dumas, P., & Hallegatte, S. (2012). Adaptation to an uncertain climate change: cost benefit analysis and robust decision making for dam dimensioning. *Climatic change*, 114(3-4), 497–508.
- Neumann, L. J. & Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press Princeton, NJ.
- Niedersachsen (2013). Klimapolitische Umsetzungsstrategie Niedersachsen . Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz.
- Niskanen, W. A. (1968). The peculiar economics of bureaucracy. *The American Economic Review*, 58(2), 293–305.
- Norby, R. J., Wullschleger, S. D., Gunderson, C. A., Johnson, D. W., & Ceulemans, R. (1999). Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell & Environment*, 22(6), 683–714.
- Nordrhein-Westfalen (2009). Anpassung an den Klimawandel - Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Nordrhein-Westfalen (2013). Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes - Verabschiedet vom Landtag NRW am 23. Januar 2013.
- Nordrhein-Westfalen (2015). Klimaschutzplan nordrhein-westfalen - klimaschutz und klimafolgenanpassung. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Oates, W. E. (1972). *Fiscal federalism*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- O'Donoghue, T. & Rabin, M. (2001). Choice and procrastination. *The Quarterly Journal of Economics*, 116(1), 121–160.
- Oppenheimer, M. & Todorov, A. (2006). Global warming: the psychology of long term risk. *Climatic Change*, 77(1), 1–6.
- Osberghaus, D., Dannenberg, A., Mennel, T., & Sturm, B. (2010a). The role of the government in adaptation to climate change. *Environment and Planning. C, Government & Policy*, 28(5), 834.
- Osberghaus, D., Finkel, E., & Pohl, M. (2010b). Individual adaptation to climate change: The role of information and perceived risk. ZEW Discussion Papers 10-061.
- Parry, M. (2000). *Assessment of Potential Effects and Adaptions for Climate Change in Europe: The Europe Acacia Project (a Concerted Action Towards a Comprehensive Climate Impacts and Adaptions Assessment for the European Union)*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia.

- Peltzman, S. (1976). Toward a more general theory of regulation. *Journal of Law and Economics*, 19(2), 211–240.
- Persson, Å. (2004). Environmental policy integration: An introduction. *PINTS–Policy Integration for Sustainability Background Paper*. Stockholm Environment Institute: Stockholm.
- Peters, H.-R. (2000). *Wirtschaftspolitik*. Oldenbourg Verlag.
- Pindyck, R. S. (1993). Investments of uncertain cost. *Journal of Financial Economics*, 34(1), 53–76.
- Pittock, J. (2011). National climate change policies and sustainable water management: Conflicts and synergies. *Ecology and Society*, 16(2), 25.
- Pollack, M. A. & Hafner-Burton, E. M. (2010). Mainstreaming international governance: The environment, gender, and IO performance in the European union. *The Review of International Organizations*, 5(3), 285–313.
- Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, J. T. (2000). Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings: durability and illumination. In *ACEEE 2000 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Pacific Grove, CA (US), 08/20/2000–08/25/2000.
- Präventionsstiftung (2009). Analysebericht - Alternative Finanzierungs- und Versicherungslösungen. Päventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Harvard paperback. Harvard University Press.
- Reckien, D., Flacke, J., Dawson, R., Heidrich, O., Olazabal, M., Foley, A., Hamann, J.-P., Orru, H., Salvia, M., Hurtado, S. D. G., et al. (2014). Climate change response in Europe: what is the reality? analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. *Climatic Change*, 122(1-2), 331–340.
- Reese, M., Möckel, S., Bovet, J., & Köck, W. (2016). Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels: Analyse, Weiter-und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. Helmholtz-Zentrum fÄr Umweltforschung- UFZ im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau.
- Rheinland-Pfalz (2007). Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007. Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz.
- Rheinland-Pfalz (2013). Klimawandelbericht – grundlagen und empfehlungen für naturschutz und biodiversität, boden, wasser, landwirtschaft, weinbau und wald. Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz.
- Rothschild, M. & Stiglitz, J. (1976). Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information. *The Quarterly Journal of Economics*, (pp. 629–649).
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Francaise d'Informatique et de Recherche Operationnelle*, 8(1), 57–75.
- Roy, B. (1977). *Conflicting objectives in Decisions*, chapter Partial preference analysis and decision-aid: The fuzzy outranking relation concept, (pp. 40–75). Wiley New York.

- Roy, B. (1978). Electre iii: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20(1), 3–24.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Nonconvex Optimization and Its Applications. Springer US.
- Roy, B. & Bertier, P. (1973). La méthode electre ii(une application au média-planning...).
- Roy, B. & Bouyssou, D. (1983). *Comparaison, sur un cas précis, de deux modèles concurrents d'aide à la décision*. Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision, Université de Paris-Dauphine.
- Roy, B. & Skalka, J.-M. (1987). *ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. LAMSADE, Unité associée au CNRS no 825, Université de Paris Dauphine.
- Saarland (2008). Saarländisches Klimaschutzkonzept 2008-2013. Saarländisches Ministerium für Umwelt.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill (Tx).
- Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, volume 4922. RWS publications Pittsburgh.
- Saaty, T. L. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, chapter 9 The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making, (pp. 345–408). International Series in Operations Research & Management Science. Springer.
- Saaty, T. L. (2007). The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: applications to decisions under risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(1), 122–196.
- Sachsen (2009). Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft.
- Sachsen-Anhalt (2010). Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel und dazu gehörender Aktionsplan. Fach- und ressortübergreifende Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel Sachsen-Anhalt.
- Samuelson, P. A. (1954). The pure theory of public expenditure. *The Review of Economics and Statistics*, 36(4), 387–389.
- Savage, L. (1954). *The Foundations of Statistics*. Dover Books on Mathematics Series. Dover Publications.

- Schaeffer, R., Szklo, A. S., Pereira de Lucena, A. F., Moreira Cesar Borba, B. S., Pupo Nogueira, L. P., Fleming, F. P., Troccoli, A., Harrison, M., & Boulahya, M. S. (2012). Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy*, 38(1), 1–12.
- Schenker, O., Mennel, T., Osberghaus, D., Ekinci, B., Hengesbach, C., Sandkamp, A., Kind, C., Savelsberg, J., Kahlenborn, W., Buth, M., Peters, M., & Steyer, S. (2014). Ökonomie des Klimawandels - Integrierte ökonomische Bewertung der Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel. *Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau. Reihe: Climate Change 16/2014. Durchgeführt von ZEW, Mannheim und Adelphi research, Berlin.*
- Schleswig-Holstein (2011). Fahrplan Anpassung an den Klimawandel. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.
- Schönwiese, C. (2005). Wahrscheinlichkeiten für Das Eintreten von Klimatologischen Extremereignissen. *UBA Bericht FKZ*, 201(41), 254.
- Sheppard, B. H. & Lewicki, R. J. (1987). Toward general principles of managerial fairness. *Social Justice Research*, 1(2), 161–176.
- Simon, H. A. (1982). *Models of bounded rationality: Empirically grounded economic reason*, volume 3. MIT press.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R., & Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, 45, 223–251.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., & Street, R. (1999). The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3-4), 199–213.
- Smit, B., Pilifosova, O., Burton, I., Challenger, B., Huq, S., Klein, R., & Yohe, G. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, chapter 18: Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity, (pp. 877).
- Smit, B. & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292.
- Smith, J. B. (1997). Setting priorities for adapting to climate change. *Global Environmental Change*, 7(3), 251–264.
- Squire, L., van der Tak, H., & Bank, W. (1975). *Economic Analysis of Projects*. A World Bank research publication. World Bank.
- Statistisches Bundesamt, D. (2012). Umweltnutzung und wirtschaft – bericht zu den umwelt-ökonomischen gesamtrechnungen 2012 – tabellen zu den umweltökonomischen gesamtrechnungen teil 4: Rohstoffe, wassereinsatz, abwasser, abfall.
- Stern, N. (2006). Review on the economics of climate change. *London HM Treasury*.
- Sterr, H. (2008). Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. *Journal of Coastal Research*, (pp. 380–393).
- Stigler, G. J. (1971). The theory of economic regulation. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, (pp. 3–21).

- Stiglitz, J. E. (1999). *Global public goods: International cooperation in the 21st century*, volume 308, chapter Knowledge as a global public good, (pp. 308–325). Oxford University Press Oxford, UK.
- Stirling, A. & Mayer, S. (2001). A novel approach to the appraisal of technological risk: a multicriteria mapping study of a genetically modified crop. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 19, 529–555.
- Stock, M. (2005). *KLARA: Klimawandel-Auswirkungen, Risiken, Anpassung*. Potsdam Institute für Climate Impact Research.
- Streit, M. (2005). *Theorie der Wirtschaftspolitik*. Uni-Taschenbücher L. Lucius & Lucius.
- Thaler, R. (1981). Some empirical evidence on dynamic inconsistency. *Economics Letters*, 8(3), 201–207.
- Thibaut, J. W., Walker, L., et al. (1975). *Procedural justice: A psychological analysis*. L. Erlbaum Associates Hillsdale.
- Thüringen (2009). Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU).
- Transportation Research Board (2008). *Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation*. Special report (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board)). National Research Council (U.S.). Committee on Climate Change and U.S. Transportation and National Research Council (U.S.). Division on Earth and Life Studies.
- Trautmann, S. (2007). *Investitionen: Bewertung, Auswahl und Risikomanagement*. Springer-Verlag.
- Treasury, H. M. (2003). *The Green Book: appraisal and evaluation in central government: Treasury guidance*. Stationery Office.
- Triantaphyllou, E. & Sánchez, A. (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods*. *Decision Sciences*, 28(1), 151–194.
- Tullock, G. (1980). *Toward a theory of the rent-seeking society*, chapter Efficient rent seeking, (pp. 112). Number 4. Texas A & M Univ Pr.
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458.
- Tyler, T. & Blader, S. (2013). *Cooperation in Groups: Procedural Justice, Social Identity, and Behavioral Engagement*. Essays in Social Psychology. Taylor & Francis.
- Tzeng, G. & Huang, J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. A Chapman & Hall book. Taylor & Francis.
- UNEP (2013). Provia guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to climate change: Consultation document. United Nations Environment Programme.
- UNESCO (2012). *Managing Water Under Uncertainty and Risk*, volume 1 of *United Nations world water development report 4*. UNESCO.

- UNFCCC (2016). Synthesis report on the aggregate effect of intended nationally determined contributions. Update published 2 May 2016.
- van Oijen, M. & Ewert, F. (1999). The effects of climatic variation in Europe on the yield response of spring wheat cv. minaret to elevated CO₂ and O₃: an analysis of open-top chamber experiments by means of two crop growth simulation models. *European Journal of Agronomy*, 10(3), 249–264.
- van Vliet, M. T., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Vögele, S., Lettenmaier, D. P., & Kabat, P. (2012). Vulnerability of us and European electricity supply to climate change. *Nature Climate Change*, 2(9), 676–681.
- Vetschera, R. & De Almeida, A. T. (2012). A promethee-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research*, 39(5), 1010–1020.
- Vetter, A. & Schauser, I. (2013). Anpassung an den Klimawandel: Priorisierung von Maßnahmen innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie. *Gaia*, 22(4), 248.
- Viscusi, W. K. & Aldy, J. E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of risk and uncertainty*, 27(1), 5–76.
- Von Nitzsch, R. & Weber, M. (1993). The effect of attribute ranges on weights in multiattribute utility measurements. *Management Science*, 39(8), 937–943.
- Watkiss, P., Hunt, A., Blyth, W., & Dyszynski, J. (2014). The use of new economic decision support tools for adaptation assessment: A review of methods and applications, towards guidance on applicability. *Climatic Change*, (pp. 1–16).
- Watkiss, P., Hunt, A., & Markandya, A. (2009). Common metrics for adaptation. *Report for the UK Defra*.
- Weber, M. & Borchering, K. (1993). Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, 67(1), 1–12.
- Weber, M., Eisenfuhr, F., & von Winterfeldt, D. (1988). The effects of splitting attributes on weights in multiattribute utility measurement. *Management Science*, 34(4), 431–445.
- Weigel, H.-J. (2011). Klimawandel–Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. *Praxis trifft Forschung – Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung, Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI)*, (pp. 9–29).
- Weisz, H., Koch, H., Lasch, P., Walkenhorst, O., Peters, V., Hattermann, F. F., Huang, S., Eich, V., Büchner, M., Gutsch, M., Pichler, P.-P., Suckow, F., & Vögele, S. (2013). Methode einer integrierten und erweiterten Vulnerabilitätsbewertung – Konzeptionell-methodische Grundlagen und exemplarische Umsetzung für Wasserhaushalt, Stromerzeugung und energetische Nutzung von Holz unter Klimawandel. *Climate Change - Umweltbundesamt (UBA)*, 13.
- WHO (2003). Climate change and human health: risks and responses. McMichael, AJ and Campbell-Lendrum, Diarmid and Ebi, KL and Corvalán, Carlos and Githeko, AK and Woodward, A and Scheraga, JD and others at World Health Organisation (WHO).

- Wilby, R. L. (2008). Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. *Environment and planning. B, Planning & design*, 35(5), 902.
- Willows, R. & Connell, R. (2003). Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UK Climate Impacts Programme (UKCIP).
- Wolters, W. & Mareschal, B. (1995). Novel types of sensitivity analysis for additive MCdm methods. *European Journal of Operational Research*, 81(2), 281–290.
- Wyckoff, P. G. (1990). The simple analytics of slack-maximizing bureaucracy. *Public Choice*, 67(1), 35–47.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., & Cramer, W. (2005). Klimawandel in Deutschland–Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamt, Dessau.
- Zhu, L., Aurum, A., Gorton, I., & Jeffery, R. (2005). Tradeoff and sensitivity analysis in software architecture evaluation using analytic hierarchy process. *Software Quality Journal*, 13(4), 357–375.

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass

1. die vorgelegte Dissertation ohne unzulässige Hilfe, insbesondere ohne die Inanspruchnahme eines Promotionsberaters, und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde und dass die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken in der Arbeit als solche kenntlich gemacht worden sind und
2. die vorgelegte Dissertation weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zwecke einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt und insgesamt noch nicht veröffentlicht wurde.

Leipzig, den 30.11.2016

Karl Trela